



**Miguel César da Silva Duarte**

Licenciado em Engenharia do Ambiente

## **Avaliação do Potencial de Biomassa Florestal Residual para Fins Energéticos no Distrito de Viseu**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Energia e Bioenergia

Orientadora: Prof. Doutora Benilde Mendes, Professora Associada  
com Agregação, FCT-UNL

Co-orientador: Prof. Doutor Marco Painho, Professor Catedrático,  
ISEGI-UNL

Júri:

Presidente: Doutor Nuno Carlos Lapa dos Santos Nunes  
Arguente: Doutora Ana Paula Soares Marques de Carvalho  
Vogal: Doutora Ana Luísa Almaça da Cruz Fernando



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Julho, 2011**



**Título:** Avaliação do Potencial de Biomassa Florestal Residual para Fins Energéticos no Distrito de Viseu

**Autor:** Miguel César da Silva Duarte

**Contacto do Autor:** [mcesar.duarte@gmail.com](mailto:mcesar.duarte@gmail.com)

*O conteúdo da presente dissertação é da inteira responsabilidade do autor  
Não é autorizada a cópia, total ou parcial, do conteúdo da presente dissertação.  
É autorizada a citação do conteúdo da presente dissertação, desde que acompanhada da  
respectiva referência bibliográfica, de acordo com as normas internacionais de citação de  
trabalhos científicos.  
Copyright*

“A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor”.





## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à Professora Doutora Benilde Mendes pela sua disponibilidade e interesse em orientar esta dissertação, por todo o auxílio prestado e palavras de incentivo desde a inscrição no mestrado até à sua conclusão.

Ao Professor Doutor Marco Painho pela co-orientação e disponibilização de todos os meios necessários para a análise geográfica efectuada, bem como o incentivo ao rigor e o interesse demonstrado no decorrer do trabalho.

À Professora Doutora Paula Soares, pela sua disponibilidade em me receber no ISA e por todos os esclarecimentos a nível das práticas florestais que foram essenciais para a obtenção dos resultados obtidos.

Ao Mestre Akli Benali pelas sugestões de trabalho e conselhos dados desde o início, mas também pelo amigo que se demonstrou sempre presente nas chamadas “à realidade”.

À coordenação do Mestrado de Energia e Bioenergia, Professora Doutora Benilde Mendes e Professor Doutor Nuno Lapa, pelo esforço efectuado para que o mestrado enriqueça quem o frequente, mas também pela constante procura em melhorá-lo, mantendo-se sempre ao lado dos alunos. Juntamente com o corpo docente e colegas de mestrado, agradeço pela experiência e conhecimento adquirido que me fizeram crescer.

Aos meus pais que desde sempre me proporcionaram todas as condições necessárias para a minha formação académica e pessoal. Sem o seu apoio e suporte tudo teria sido diferente.

A todo um conjunto de amigos, que nunca caberão nestas páginas, que mesmo com pequenas palavras e pequenos gestos fazem com que as maiores adversidades sejam enfrentadas com alegria e optimismo.

À Mariana, minha namorada e uma pessoa muito especial que sempre esteve comigo a meu lado fazendo com que tudo pareça fácil, onde a sua paciência e compreensão parecem não ter fim.

Não menos importantes houve um conjunto de pessoas, que não poderia deixar de mencionar, cujas pequenas contribuições enriqueceram este trabalho:

Eng. Cláudia Sousa (CBE)

Tiago Oliveira (LabNT, ISEGI)

Eng. Carlos Netto (Florecha)

Eng. Vera Almeida (CEDRUS)

Eng. Graça Louro (AFN)

Cátia Dias (CP carga)

Diamantino Correia (ESRI, Portugal)

## RESUMO

A biomassa florestal residual (BFR) pode constituir um importante contributo para a produção de energia eléctrica a nível nacional, como complemento aos combustíveis fósseis. É neste âmbito que, no presente trabalho, se procura avaliar o potencial de BFR para a produção de energia no Distrito de Viseu considerando os principais povoamentos florestais de pinheiro bravo e eucalipto. Para tal foi estimada a BFR proveniente da exploração de cada povoamento, através da aplicação de modelos de silvicultura e do software Pbravo 2.1 (para o pinheiro bravo) e o programa Globulus 2.1 (para o eucalipto) para estimar a produção de biomassa. Da aplicação dos modelos resultam uma produção de 1,90 e 1,38 ton ms/ha.ano para povoamentos de pinheiro bravo e eucalipto, respectivamente. De modo a se poder estudar a disponibilidade da BFR calculada no Distrito de Viseu foi construído um modelo para uma análise geográfica com recurso ao Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcGIS 10. Desta análise são estipulados dois cenários onde no primeiro se considera apenas Central Termoeléctrica de Mortágua e no segundo, para além desta, também se consideram as centrais de Carregosa e Vila Real provenientes do concurso de centrais dedicadas a biomassa, lançado pela DGGE em 2006. Para cada cenário estuda-se a acessibilidade aos povoamentos variando o peso atribuído a cada um dos factores que condicionam a acessibilidade, de onde se observa que, para a zona em estudo, o declive é o que tem menos impacte, relativamente à distância das centrais, bem como que são os povoamentos de pinheiro bravo que apresentam maiores diferenças de acessibilidade relativamente aos dois cenários estipulados. Pela aplicação das duas metodologias pode-se concluir que para o primeiro cenário da BFR pode-se produzir cerca de 712,1 TJ/ano enquanto para o segundo 778,53 TJ/ano, contribuindo assim em cerca de 14,47% e 15,82% respectivamente, para as necessidades energéticas (energia eléctrica) do Distrito de Viseu.

**Palavras chave:** Biomassa Florestal Residual, Modelos de Produção Florestal, Sistema de Informação Geográfica, Viseu, Energia



## **ABSTRACT**

The woody biomass can play an important role contributing nationally to produce electric energy, being an complement to fossil fuels. In this context the present paper aims to assess the forest residues (FR) potential in Viseu district with propose of producing electric energy, considering the two main forest stands of pine and eucalyptus. In order to do that it was estimated the FR production for each species using forestry models and the software Pbravo 2.1 (for pine) and Globulus 2.1 (for eucalyptus) to estimate the biomass produced. The FR production was estimated in 1,90 and 1,38 dry tones per hectare in one year for pine and eucalyptus stands respectively. To assess how the FR estimated is available to be collected, it was built a model in order to make a geographic analysis using the Geographic Information System (GIS) - ArcGIS.10. This analysis originates two main scenarios where in the first one it was only considered the biomass power plant of Mortágua, and in the second one two more power plants of Carregosa and Vila Real were added from the 2006 tender launched by the DGGE. For each scenario was studied how the two main constrains to explore de FR influenced the access, where slope is the one who reveals less impact comparing to the distance from the power plants, as well as the pine stands shows more differences of access between the two scenarios. Considering the results of the two methodologies applied it was estimated for the first scenario a potential of 712,1 TJ/year and for the second 778,53 TJ/year, contributing for 14,47% and 15,82% respectively to the energy demands (electric energy) of Viseu district.

**Keywords:** Forest Residues, Forest Production Models, Geographic Information System, Viseu, Energy



## **LISTA DE ABREVIATURAS**

AEP - Associação Empresarial de Portugal  
AFN - Autoridade Florestal Nacional  
BEF - Factor de Expansão da Biomassa  
BFR - Biomassa Florestal Residual  
C1 - Cenário 1  
C2 - Cenário 2  
CBE - Centro da Biomassa para Energia  
CELE - Comercio Europeu de Licenças de Emissão  
CF - Carbono Fixo  
CLC - Corine Land Cover  
COS - Carta de Ocupação de Solo  
DAP - Diâmetro à Altura do Peito  
dg - Diâmetro da árvore de área seccional média  
DGGE - Direcção Geral de Energia e Geologia  
DGRF - Direcção Geral e Regional das Florestas  
DSR - Daily Severity Rating  
FER - Fontes de Energia Renováveis  
FIT - Feed in Tariffs  
FWI - Fire Weather Index  
GEE - Gases Efeito Estufa  
ha - Hectare  
IM - Instituto de Meteorologia  
INE - Instituto Nacional de Estatística  
Iqe - Índice de Qualidade de Estação  
MV - Matéria Volátil  
ms - Massa seca  
OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico  
OPEP - Organização dos Países Exportadores de Petróleo  
PCI - Poder Calorífico Inferior  
PCS - Poder Calorífico Superior  
PIB - Produto Interno Bruto  
PIP - Pedido de Informação Prévia  
PNAC - Plano Nacional para as Alterações Climáticas

PNAER - Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis

PNALE - Plano Nacional Atribuição de Licenças de Emissão

PNDFCI - Plano Nacional de Defesa das Florestas Contra Incêndios

TC - Teor em Cinzas

TH - Teor em Humidade

VAB - Valor Acrescentado Bruto



## ÍNDICE DE MATÉRIAS

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	v
<b>RESUMO</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....	xi
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 - Enquadramento .....	1
1.2 - Objectivos .....	3
1.3 - Metodologia Adoptada .....	4
1.4 - Organização da Dissertação .....	4
<b>2. BIOMASSA FLORESTAL</b> .....	7
2.1 – Enquadramento Político e Legislativo .....	7
2.2 - Incentivos Legais para a Biomassa .....	10
2.3 – Coberto Vegetal .....	12
2.4 - Valor Económico da Floresta .....	14
2.5 - Valor Ambiental da Floresta .....	17
2.6 – Incêndios Florestais .....	19
<b>3. PROCESSAMENTO DA BIOMASSA FLORESTAL RESIDUAL</b> .....	25
3.1 – Sistema de Exploração de Biomassa Florestal Residual .....	25
3.2 – Características da Biomassa .....	33
3.3 - Principais produtos .....	35
3.4 - Sustentabilidade num Sistema de Exploração de BFR .....	38
<b>4. ÁREA DE ESTUDO</b> .....	43
<b>5. METODOLOGIA</b> .....	49
5.1 - Quantificação da produção de BFR .....	49
5.2 - Análise Geográfica de Acessibilidade .....	54
5.3 - Contribuição para a produção de Energia no Distrito de Viseu .....	61
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	63
6.1 - Quantificação da Produção de BFR .....	63
6.2 - Análise Geográfica de Acessibilidade .....	65
6.3 - Contribuição para a produção de energia .....	90

<b>7. CONCLUSÕES.....</b>	<b>93</b>
<b>8. LIMITAÇÕES E TRABALHO FUTURO.....</b>	<b>95</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>97</b>
<b>ANEXO I - Declives e Distâncias às Centrais .....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXO II - Acessibilidade Cenário 1.....</b>	<b>106</b>
<b>ANEXO III - Acessibilidade Cenário 2 .....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXO IV - Distribuição dos Principais Povoamentos Florestais.....</b>	<b>108</b>
<b>ANEXO V - Acessibilidade aos Povoamentos de Pinheiro (Cenário 1) .....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO VI - Acessibilidade aos Povoamentos de Eucalipto (Cenário 1).....</b>	<b>110</b>
<b>ANEXO VII - Acessibilidade aos Povoamentos de Pinheiro (Cenário 2) .....</b>	<b>111</b>
<b>ANEXO VIII - Acessibilidade ao Povoamentos de Eucalipto (Cenário 2) .....</b>	<b>112</b>
<b>ANEXO IX - Modelo Completo (Model Builder - ArcGIS.10) .....</b>	<b>113</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Distribuição das espécies no coberto vegetal predominantes no Continente.....	13
Figura 2.2 - Comparação entre as componentes do valor económico total do sector florestal dos países da bacia Mediterrânica (euros/ha) (DGRF, 2006) .....	15
Figura 2.3 - Evolução do Valor Acrescentado Bruto (VAB) do Sector Florestal, a preços correntes, relativos ao ano de 2003 (INE, 2003) .....	17
Figura 2.4 - Distribuição das Áreas Ardidas na Europa (EFFS, 2007).....	20
Figura 2.5 - Área ardida anualmente na Europa (JRC, 2009).....	20
Figura 2.6 - FWI por Distrito 12-09-2009 (IM2010).....	20
Figura 2.6 - Variação do DRS ao longo do ano 2009 .....	20
Figura 3.1 - Esquema geral de um sistema de exploração de BFR .....	25
Figura 3.2 - Rechega da biomassa com um camião com grua e com um <i>forward</i> (CBE, 2004)..	26
Figura 3.3 - Estilhaçador Móvel (CBE, 2004) .....	29
Figura 3.4 - Enfardamento de biomassa florestal residual num povoamento de pinheiro bravo percorrido por um incêndio (CBE, 2004) .....	29
Figura 3.5 - Camião basculante a fazer descarga de estilha (Netto, 2008) .....	30
Figura 3.6 - Variação de massa uma partícula de biomassa ao longo do tempo durante a combustão (Dias, 2002).....	30
Figura 3.7 - PCI em função do teor em humidade num combustível de composição 50wt% C, 6wt% H e 44wt% O em base húmida (bh) (Loo <i>et al.</i> , 2002) .....	32
Figura 3.8 - Estilhas de alta qualidade (IST, 2004).....	34
Figura 3.9 - Toros de madeira ( <a href="http://www.energiasrenovaveis.com">www.energiasrenovaveis.com</a> ).....	37
Figura 3.10 - <i>Pellets</i> de madeira ( <a href="http://verstegen.net">verstegen.net</a> ) .....	37
Figura 3.11 - Briquetes de madeira ( <a href="http://www.cnpae.embrapa.br">www.cnpae.embrapa.br</a> , 2011).....	38
Figura 4.1 - Distrito de Viseu (AMP, 2011) .....	40
Figura 4.1 - Valores de temperatura e precipitação médias de 2005 a 2009 (SNIRH, 2011) .....	41
Figura 4.3 - Altimetria Distrito de Viseu (Atlas do Ambiente Digital, 2011).....	45
Figura 4.4 - - Usos do solo no Distrito de Viseu (AFN, 2010).....	43
Figura 4.5 - Número de Estabelecimentos da Fileira Florestal no Distrito de Viseu em 2008 (Louro, 2011) .....	48
Figura 5.1 - Modelo para Cálculo dos Declives.....	55

Figura 5.2 - Modelo Simplificado para cálculo das Distâncias Cenário 1 .....	56
Figura 5.3 - Modelo simplificado para cálculo das distâncias Cenário 2 .....	57
Figura 5.4 - Modelo simplificado para o cálculo das classes de acessibilidade para o C1.....	58
Figura 5.5 - Modelo simplificado para o cálculo das classes de acessibilidade para o C2.....	58
Figura 5.6 - Modelo simplificado para o cálculo das classes de densidade dos povoamentos ...	60
Figura 5.7 - Modelo para o cálculo das classes de acessibilidade aos povoamentos.....	60
Figura 5.8 - Modelo para o cálculo das classes de densidade nos melhores acessos aos povoamentos.....	61
 Figura 6.1 - Classes de Declive .....	65
Figura 6.2 - Classes de Distância para Cenário 1 .....	66
Figura 6.3 - Classes de Distância para Cenário 2 .....	67
Figura 6.4 - Classes de Acessibilidade para C1A .....	68
Figura 6.5 - Classes de Acessibilidade para C1B .....	68
Figura 6.6 - Classes de Acessibilidade C1C .....	69
Figura 6.7 - Classes de Acessibilidade para C2A .....	70
Figura 6.8 - Classes de Acessibilidade para C2B .....	71
Figura 6.9 - Classes de Acessibilidade para C2C .....	71
Figura 6.10 - Distribuição dos Principais Povoamentos Florestais .....	73
Figura 6.11 - Classes de Acessibilidade a Pinheiros para C1A .....	74
Figura 6.12 - Classes de Acessibilidade a Eucaliptos para C1A.....	75
Figura 6.13 - Classes de Acessibilidade a Pinheiros para C1B .....	76
Figura 6.14 - Classes de Acessibilidade a Eucaliptos para C1B.....	77
Figura 6.15 - Classes de Acessibilidade a Pinheiros para C1C .....	78
Figura 6.16 - Classes de Acessibilidade a Eucaliptos para C1C.....	79
Figura 6.17 - Classes de Acessibilidade a Pinheiros para C2A .....	80
Figura 6.18 - Classes de Acessibilidade a Eucaliptos para C2A.....	81
Figura 6.19 - Classes de Acessibilidade a Pinheiros para C2B .....	82
Figura 6.20 - Classes de Acessibilidade a Eucaliptos para C2B.....	83
Figura 6.21 - Classes de Acessibilidade a Pinheiros para C2C .....	84
Figura 6.22 - Classes de Acessibilidade a Eucaliptos para C2C.....	85
Figura 6.23 - Densidades Médias dos Povoamentos de Pinheiro e Eucalipto.....	87
Figura 6.24 - Distribuição das Classes de Acessibilidade (C1A) pelas Classes de Densidade.....	87
Figura 6.25 - Distribuição das Classes de Acessibilidade (C2A) pelas Classes de Densidade.....	88
Figura 6.26 - Distribuição das Classes de Acessibilidade (C1B) pelas Classes de Densidade.....	89

Figura 6.27 - Distribuição das Classes de Acessibilidade (C2B) pelas Classes de Densidade.....89



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Tarifas de aquisição para a produção de energia eléctrica a partir de biomassa (Oberberger & Thek, 2004; DL nº 33-A/2007 ) .....	12
Tabela 2.2 - Principais entradas e saídas dos produtos do sector florestal no ano 2008 ..... (INE, 2009).....	16
Tabela 2.3 - Sequestro de Carbono por espécie florestal (Adaptado de Nunes, 2008; Pereira, 2007) .....	18
Tabela 3.1 - Características dos diferentes combustíveis, biomassa e carvão (Adaptado de Demirbas, 2004; Splietoff, 1998; Sami, 2002) .....	35
Tabela 3.2 - Valores máximos para os diferentes parâmetros de <i>pellets</i> e briquetes de madeira (Adaptado de Oberberger <i>et al.</i> , 2002) .....	38
Tabela 4.1 - Área dos povoamentos florestais por espécie dominante no Distrito de Viseu (AFN, 2010) .....	47
Tabela 5.1 - Modelos de silvicultura para povoamentos de pinheiro bravo .....	50
Tabela 5.2 - Modelos de silvicultura para povoamentos de eucalipto .....	53
Tabela 5.3 - Peso (%) dos factores para cada cenário .....	57
Tabela 5.4 - Matriz de comparação entre a CLC90 e a COS90 (número de pixéis) .....	59
Tabela 5.5 - Valores de PCI de BFR em função da percentagem de humidade (Netto, 2008) ....	62
Tabela 6.1 - Modelo de Exploração do Povoamento de Pinheiro e Produção de BFR .....	63
Tabela 6.2 - Produção de BFR nos povoamentos de eucalipto .....	64
Tabela 6.3 - Áreas por Classe de Acessibilidade para cada Cenário .....	72
Tabela 6.4 - Áreas dos Povoamentos de Pinheiro por Classe de Acessibilidade para cada Cenário .....	86
Tabela 6.5 - Áreas dos Povoamentos de Eucalipto por Classe de Acessibilidade para cada Cenário .....	86
Tabela 6.6 - Áreas dos Povoamentos para cada Classe de Densidade .....	90
Tabela 6.7 - Potencial Energético do Distrito de Viseu para C1 e C2 .....	91





## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 - Enquadramento

As alterações climáticas, apesar de envoltas em suspeição e controvérsias, têm vindo a ser consideradas como um problema à escala global, por grande parte da comunidade científica e pela população em geral. Considera-se que os seus efeitos se fazem sentir sob a forma do aumento da temperatura atmosférica e respectivas consequências adjacentes, como o degelo das calotes polares e o aumento do nível médio das águas do mar (IPCC, 1997). Actualmente existe um consenso generalizado de que uma das suas principais causas são as emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE) e é neste contexto que o Protocolo de Quioto apresenta um papel fundamental (IPCC, 1997).

O Protocolo de Quioto incide na redução da emissão dos chamados seis GEE: Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), Metano ( $\text{CH}_4$ ), Óxido Nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), Hidrocarbonetos Fluorados (HFC), Hidrocarbonetos Perfluorados (PFC) e Hexafluoreto de Enxofre ( $\text{SF}_6$ ) de forma a combater a tendência das alterações climáticas (CE, 2002). A Europa marca bem a sua posição relativamente às alterações climáticas, quando estabeleceu metas bem mais ambiciosas que as propostas em Quioto, pretendendo reduzir em 20% as emissões de  $\text{CO}_2$  de 2008 a 2012, em relação aos níveis de 1990, bem mais que os 8% estipulados no Protocolo de Quioto (CE, 2002). Portugal vai ainda mais longe propondo-se a reduzir até 27% as emissões de GEE (CE, 2002).

Actualmente vivemos num mundo bastante dependente da energia de origem fóssil (EIA, 2009). Como tal têm-se procurado na última década outras fontes de energia, alternativas às convencionais, nomeadamente Fontes de Energias Renováveis (FER) como a eólica, solar, das marés, ondas e biomassa, entre outras. Esta procura não é recente, já que na década de 70 se assistiu a duas crises petrolíferas, derivadas de um excesso de procura em relação à oferta, reflectindo-se num aumento considerável nos preços do barril de *crude* (Braginskii, 2008). Esta situação teve graves consequências para os países em desenvolvimento durante a década de 80, que ainda se fazem sentir nos dias de hoje. É no fim da década de 80 que se assiste novamente a um aumento dos preços do barril de petróleo durante a Guerra do Golfo (Ramcharran, 2001), o que fez com que alguns países tomassem medidas para evitar novas crises, começando a investir noutras fontes de energia. Também, recentemente, as energias renováveis e o seu contributo para a diminuição das emissões de GEE têm ganho cada vez mais

popularidade, graças também aos meios de comunicação social que têm desempenhado um papel importante na promoção das mesmas e na divulgação dos problemas ambientais adjacentes à exploração dos combustíveis fósseis (EIA, 2009).

Como consequência do crescimento económico, do aumento da população e da progressão social, o uso de energia quadruplicou desde a década de 60 (OPEP, 2009). Actualmente, os combustíveis fósseis são os que apresentam a maior fatia como fonte de energia primária utilizada, destacando-se claramente o petróleo, carvão e o gás natural ocupando 86% da energia total produzida mundialmente. As energias renováveis ainda contribuem, humildemente, para a produção de energia, contudo destaca-se claramente não só a hídrica como também a biomassa (OPEP, 2009).

Aproximadamente 40% da energia eléctrica global é gerada através do carvão e com tendência para aumentar, nomeadamente perante o rápido crescimento das potências emergentes, particularmente a China que chega a ocupar uma maior fatia nos consumos de carvão comparativamente com o petróleo e o gás natural (OPEP, 2009). No entanto, os conteúdos elevados em carbono e respectivas emissões fazem-nos repensar este crescente uso para a produção de energia. O gás natural é o combustível com a maior diversidade de usos pelos sectores. No entanto, é a produção de energia eléctrica que apresenta a maior percentagem de uso, seguido dos usos domésticos (residencial, comercial, agrícola) para cozinhar e aquecimento. Mais de metade do uso do petróleo destina-se ao sector dos transportes, quer terrestres quer aéreos e a geração de energia eléctrica ocupa uma pequena porção, ligeiramente acima dos 5% (OPEP, 2009).

A maioria dos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) dependem, em mais de 80%, de combustíveis fósseis. Portugal não é excepção. A dependência energética nacional do exterior é de cerca de 81,2% relativamente ao ano de 2009 (DGGE, 2010), marcada pelo petróleo, pelo carvão e pelo gás natural. O Ministério da Economia Inovação e Desenvolvimento (MEID) reconhece a energia como um dos pilares fundamentais para o desenvolvimento económico, logo torna-se necessário garantir a segurança do seu abastecimento. A melhor estratégia para assegurar elevados padrões de segurança será a diversificação do *mix* energético, quer das fontes quer das origens dos combustíveis (MEID, 2010).

Portugal, embora não possua fontes de energia fósseis conhecidas que possa explorar, apresenta recursos naturais que permitem o desenvolvimento da exploração das FER, tais como a solar térmica, fotovoltaica, das ondas e hídrica (já bastante desenvolvida), biomassa e a eólica. Em Abril de 2010 Portugal tinha 9 275 MW de capacidade instalada para a produção de energia eléctrica a partir de FER, o que representa um aumento de cerca de 90% no período de Janeiro a Abril, relativamente a igual período de 2009 (DGGE, 2010). Este aumento de capacidade instalada foi devido quer à entrada em funcionamento de duas centrais de biomassa, três centrais fotovoltaicas, uma mini hídrica, ao reforço de potência em quatro das centrais eólicas já existentes, quer à elevada produção da componente hídrica (DGGE, 2010). Actualmente é a energia eólica a que apresenta um maior crescimento, 53% relativamente ao ano de 2009, de todas as FER (DGGE, 2010).

Estes dados confirmam a emergência das FER no panorama energético nacional, tornando-se assim interessante estudar a sua disponibilidade, bem como as vantagens adjacentes da sua exploração. A biomassa, relativamente ao ciclo de carbono, apresenta-se como um combustível de “carbono zero”, já que remove o dióxido de carbono da atmosfera armazenando-o durante o seu crescimento. Durante a queima da biomassa, em processos industriais ou na produção de energia eléctrica, o CO<sub>2</sub> retido é novamente devolvido à atmosfera. O ciclo completa-se se houver uma gestão sustentável das fontes de biomassa, de modo a que a biomassa seja regenerada nos próximos ciclos e colhida para posterior utilização (BCSD, 2009).

## **1.2 - Objectivos**

Na presente dissertação pretende-se estimar o potencial energético proveniente da Biomassa Florestal Residual (BFR) no distrito de Viseu, bem como estudar de que maneira os factores de declives e distância dos centros de consumo aos povoamentos florestais afectam a acessibilidade aos mesmos.

### **1.3 - Metodologia Adoptada**

A metodologia pode-se dividir em três grandes partes. Na primeira serão utilizados modelos de silvicultura de modo a se poder estimar a produção das principais espécies do distrito para cada componente da árvore, de onde é possível calcular a parcela correspondente à BFR. Para povoamentos de pinheiro bravo será utilizado o modelo Pbravo 2.1 (Páscoa, 2001) e de eucaliptos o Globulus 2.1 (Tomé *et al*, 2001).

Na segunda parte da metodologia será construído um modelo que permite uma análise geográfica dos povoamentos florestais, considerando dois factores como condicionantes à sua exploração: o declive e a distância dos povoamentos aos centros de consumo. Neste caso os centros de consumo corresponderão apenas às centrais termoeléctricas dedicadas de biomassa, a já em funcionamento de Mortágua e outras duas, lançadas a concurso pela DGGE em 2006, de Carregosa e de Vila Real. Fazendo variar o peso atribuído a cada um dos factores será estudada a influência de cada um deles bem como o impacte que a introdução das novas centrais a instalar terão na acessibilidade aos povoamentos.

Na terceira e última parte calcular-se-á a contribuição que a produção de energia através de BFR terá para o distrito de Viseu de acordo com as suas necessidades energéticas.

### **1.4 - Organização da Dissertação**

A dissertação está organizada em nove capítulos principais da seguinte forma:

No presente capítulo, Introdução, aborda-se a actualidade da dependência dos combustíveis fósseis e a importância das FER neste contexto e descritos os principais objectivos propostos.

O segundo capítulo trata dos planos políticos e medidas a nível europeu e nacional para a promoção das FER e em particular da BFR. É também descrito brevemente o coberto vegetal de Portugal Continental e a sua importância quer a nível económico como ambiental, assim como é abordada a problemática dos incêndios florestais.

No capítulo três são descritos os processos envolvidos num sistema de exploração de BFR desde as operações a nível florestal como os processos termoquímicos utilizados para a produção de energia. Segue-se uma breve caracterização dos principais produtos obtidos deste sistema bem como a descrição de como poderá funcionar de uma forma sustentável a nível ambiental, económico e social.

No quarto capítulo é feita uma breve descrição climática da área de estudo bem como abordadas as principais indústrias e actividades da zona e os principais usos de solo.

No quinto capítulo descreve-se as metodologias utilizadas na dissertação cujos resultados são apresentados e discutidos no capítulo seguinte, capítulo seis. Por fim seguem-se o capítulo sete onde é feita uma conclusão geral dos resultados obtidos de acordo com os objectivos delineados seguido de um capítulo (capítulo oito) onde se comentam os principais erros detectados e possível trabalho futuro. O capítulo final apresenta as referencias bibliográficas que suportam o presente trabalho.



## **2. BIOMASSA FLORESTAL**

### **2.1 – Enquadramento Político e Legislativo**

Portugal, como anteriormente referido, propõe-se reduzir até 27% as emissões de GEE, de modo a poder concretizar o compromisso estipulado no Protocolo de Quioto, tendo sido elaborado o Plano Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), através da Resolução do Conselho de Ministros nº 119/2004 a 31 de Julho de 2004. Este plano define um conjunto de políticas e medidas internas visando não só a redução dos GEE, como também procura ainda antecipar os impactes adjacentes das alterações climáticas. Ao longo do desenvolvimento do PNAC foram realizadas estimativas para as emissões de GEE de 2005 a 2010 onde se observou um aumento entre 12,5 a 8,4 Mt CO<sub>2</sub> equivalendo a 47,5% relativamente a 1990. De modo a inverter a tendência são então delineadas medidas e instrumentos adicionais para ajudar a permitir o cumprimento das metas de Quioto. Em suma os principais objectivos no PNAC são:

- actualização dos inventários nacionais de emissões, de modo a quantificar o esforço de redução das emissões;
- identificar responsabilidades sectoriais em termos de emissões de GEE;
- apresentar o conjunto de políticas e medidas (inter)sectoriais para o controlo e redução de GEE e respectivos instrumentos no curto, médio e longo prazo;
- identificar a participação de Portugal nos mecanismos de flexibilidade preconizados no Protocolo de Quioto.

Este instrumento é mais tarde revisto e aprovado a 3 de Agosto de 2006 pela Resolução do Conselho de Ministros nº 104/2006 criando assim o PNAC 2006. Os principais objectivos do PNAC 2006 são os de reforçar a monitorização nos diversos sectores e alargar o esforço de cumprimento do Protocolo de Quioto, “através de medidas nos sectores não abrangidas pelo Comércio Europeu de Licenças de Emissão”, assegurar que os diversos sectores desenvolvam um esforço de monitorização apertado de modo a garantir a execução das diferentes medidas e reforçar a verba do Fundo Português de Carbono, estabelecendo o valor mínimo de dotação que o Orçamento de Estado transferirá anualmente em cerca de 110 milhões de euros.

Como medida de incentivo a indústrias/empresas no cumprimento das metas de Quioto foi estabelecido o primeiro regime de internacional de comércio de emissões, o Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE), que apenas reconhece as emissões de CO<sub>2</sub>. Deste modo estabelece-se um mercado em que podem ser transaccionadas licenças de emissão

entre as empresas abrangidas. O mecanismo do CELE permite não só fiscalizar as emissões das indústrias bem como incentivar o recurso a tecnologias ditas mais “limpas”, ou seja menos poluentes, funcionando como um sistema de *cap-and-trade*. Isto é, as empresas são obrigadas a monitorizar e manter um registo das emissões e apresentar, no fim de cada ano, um relatório sobre as emissões anuais. Ao mesmo tempo estas têm de se assegurar que ainda dispõem de um número suficiente de licenças para devolver ao final do mês de Abril, estipuladas nos respectivos planos nacionais. Caso as emissões sejam superiores às licenças atribuídas, as empresas podem entrar em custos acrescidos derivado de sanções financeiras, caso ainda possuam licenças para de emissão podem incorrer em benefícios económicos, transaccionando-as para empresas que tenham ultrapassado as licenças de emissão. Deste modo permite-se corrigir a tendência global de incumprimento das metas de Quioto dos Estados membros (CELE, 2006).

Portugal, como base para o CELE, implementou o Plano Nacional de Atribuição de Emissões (PNALE) onde se define a metodologia e os critérios de atribuição de licenças de emissão de GEE, às instalações localizadas em território nacional (APA, 2010). Após a publicação do primeiro PNALE I, que se referia ao período de 2005-2007, são actualizadas as licenças de emissão referentes ao período de 2008-2012 – o PNALE II ou PNALE 2008-2012. Para a atribuição da quantidade total de licenças de emissão a atribuir às instalações abrangidas pelo CELE, o PNALE II tem como referência os resultados contidos na proposta de PNAC 2006 e respectivas medidas de redução nele previstas. Considerando as projecções para 2010 do balanço líquido do total de emissões em 84,60 MtCO<sub>2e</sub>/ano (já que são sequestrados pelas florestas 3,36 MtCO<sub>2e</sub>/ano do total de 87,96 MtCO<sub>2e</sub>/ano) Portugal apresenta um défice de 7,41 MtCO<sub>2e</sub>/ano perante as metas de Quioto que estabelecem como 77,19 MtCO<sub>2e</sub>/ano o valor máximo de emissões de GEE no período de 2008-2012. De acordo com as medidas adicionais estipuladas no PNAC 2006, prevê-se uma redução do total de emissões nacionais em 3,69 MtCO<sub>2e</sub>/ano deixando 3,73 MtCO<sub>2e</sub>/ano para colmatar por recurso a aquisição de créditos. Uma vez feitos os ajustamentos a projecção das emissões das actividades abrangidas pelo CELE define como tecto de licenças a atribuir o equivalente a 35,80 MtCO<sub>2e</sub>/ano. Devido à necessidade de colmatar o défice das emissões nacionais, o Governo pretende adquirir 1,86 MtCO<sub>2e</sub>/ano através do Fundo Português de Carbono. Assim sendo o tecto final CELE para o PNALE II será de 33,93 MtCO<sub>2e</sub>/ano (PNAC, 2006).

Contudo é necessário consolidar uma política global de modo a serem criados incentivos fiscais e legais para a promoção das FER. A necessidade de criar uma política energética europeia



ganha força em 1997 com o lançamento do *Livro Branco para uma Estratégia e um Plano de Acção* (CCE, 1997), assim como na recente comunicação *Uma Política Energética para a Europa* (CCE, 2007) onde são estabelecidas metas para a produção de energia a partir de FER. É deste modo que a comunidade Europeia se compromete a aumentar a competitividade e realizar o mercado interno da energia, assim como garantir a segurança do abastecimento, reduzir a dependência energética de cada estado membro bem como reduzir as emissões de GEE, criando um modelo para um desenvolvimento mais sustentável.

A União Europeia estipulou, em 1997, para uma produção de energia a partir de FER de 12% em 2010, (CCE, 1997). Esta meta sobe mais tarde com a entrada da importante Directiva 2001/77/CE que a eleva até 21% (CE, 2001). Contudo alguns estados membros adoptaram por metas individuais, tais como Portugal, que traçou uma meta ainda mais ambiciosa para 39%. (CE, 2001). As ideias subjacentes aos objectivos estipulados em 1997 são reforçadas dez anos mais tarde em 2007 com o lançamento da Comunicação COM (2007) (CCE, 2007) embora agora com maior ênfase para as alterações climáticas. Contudo a preocupação de criar oportunidades de produção de energia regionais e locais e diversificar as fontes de energia continua a ser reconhecida. Com base na problemática das alterações climáticas foram estipulados três importantes e ambiciosos objectivos, nesta comunicação:

- 1) Redução em 20% das emissões de GEE relativamente às emissões de 1990;
- 2) Contributo de 20% das energias renováveis para a produção de energia primária;
- 3) Redução em 20% da produção global de energia primária.

É, em 2005, que a Comissão Europeia apresenta mais um indício de que está consciente do importante contributo que a energias renováveis poderão dar, nomeadamente a biomassa, através do *Plano de Acção para a Biomassa* (CCE, 2005a) estabelecendo um conjunto de medidas com o principal objectivo de promover e desenvolver a produção de energia a partir da biomassa. Este documento não apresenta medidas em concreto, mas demonstra a vontade política de mudar a actual legislação com algumas sugestões. Entre as mais relevantes poder-se-á destacar-se a sugestão de que os Estados-membros deverão elaborar os seus próprios planos, rever o valor do IVA no aquecimento de edifícios a biomassa, implementar e monitorizar a ajuda ao desenvolvimento de culturas energéticas, e incentivar a investigação na área das biorefinarias e biocombustíveis de 2ª geração.

A entrada do Protocolo de Quioto apresentou-se como um importante impulso para a redução dos gases efeito estufa. A intenção de reduzir estes poluentes atmosféricos revela-se favorável ao desenvolvimento da produção de energia através da biomassa. É com a entrada da

Directiva 2003/87/CE relativa ao mercado Europeu de emissão de GEE que por um lado reforça a iniciativa de redução dos mesmos, através da limitação das emissões totais de grandes instalações, aplicando-se valores limites de emissão sob a forma de créditos. Por outro lado favorece as centrais dedicadas de biomassa, bem como as de co-geração, pois ficam isentas de possuir créditos de emissão. Deste modo incentivam-se projectos com recurso à biomassa a nível de produção industrial (CE, 2003).

A recente Resolução do Conselho de Ministros nº 29/2010, de 15 de Abril aprova a Estratégia Nacional para a Energia (ENE 2020), onde as energias renováveis continuam a ter um papel fulcral não só nos objectivos delineados para o sector como para a economia portuguesa. Nela são estipulados objectivos para 2020 tais como:

- 31% do consumo final bruto de energia, 60% da electricidade produzida e 10% do consumo de energia no sector dos transportes tenham origem em fontes renováveis;
- Reduzir a dependência do exterior para cerca de 74%, baseada no consumo e importação de combustíveis fósseis, assim como a redução em 25% do saldo importador energético (2.000 milhões €) através da energia produzida de fontes endógenas;
- Reduzir as emissões de GEE através da utilização de fontes de energia renovável e da eficiência energética e criação de novos postos de trabalho.

Para além destas metas a ENE estabelece um conjunto de medidas específicas com vista à promoção às diferentes tecnologias de exploração das energias renováveis. Relativamente à Biomassa pretende-se, mais uma vez sem medidas em concreto, promover a sua produção para assegurar as necessidades de consumo já instaladas, através de apoios públicos, promoção da certificação da gestão florestal sustentável, avaliação e promoção das culturas energéticas e da biomassa residual resultante das actividades agrícolas e agro-industriais (ENE, 2020)

## **2.2 - Incentivos Legais para a Biomassa**

As referidas directivas e planos estratégicos, quer nacionais quer comunitários, para a promoção das energias renováveis, são um importante passo para investidores e produtores apostarem cada vez mais nesta alternativa. Contudo, para que se tornem competitivas perante as fontes de energia de origem fóssil, é necessário que existam fundos de financiamento e incentivos legais para a energia gerada a partir de fontes renováveis. Na Comunidade Europeia

(CE) os incentivos mais populares são os Certificados Verdes (*Green Certificates*) e as Tarifas de Aquisição (*Feed-in-Tarif*) (FIT) e são também usados como incentivo, aos dois anteriores, o Concurso Público (*Tender*) onde o Estado escolhe o projecto vencedor e estabelece um preço para a energia produzida, bem como os Incentivos Fiscais (*Tax Incentive*) através da redução da carga fiscal sob as fontes de energia renováveis. Maioritariamente estes instrumentos são usados como complementos de outros, à excepção da Finlândia e Malta, que os usam na sua totalidade como incentivo à produção de energias renováveis (PANAER, 2010).

O mecanismo de Certificados Verdes baseia-se no princípio de que a energia eléctrica produzida a partir de fontes renováveis origina dois produtos distintos: a energia em si, comercializada no mercado de energia eléctrica, e por outro lado origina também certificados verdes, que poderão ser transaccionados num mercado próprio. Deste modo o produtor tem duas fontes de remuneração, tornando assim mais rentável a exploração de um recurso mais dispendioso que as fontes de energia fóssil. Actualmente os estados membros que aderiram a este tipo de incentivo foram a Bélgica, Itália, Suécia, Reino Unido, Polónia e Roménia (Arne Klein *et al.*, 2008).

As Tarifas de Aquisição (FIT) consistem na introdução de um preço fixo por unidade de energia, pago ao produtor que recorre a fontes renováveis, por um determinado período de tempo. Este sistema foi implementado com sucesso em Espanha e na Alemanha durante os últimos anos, levando a um aumento das centrais de produção de energia eléctrica com recurso a fontes renováveis. Com o objectivo de promover e divulgar a experiência aos restantes estados membros, e também para melhorar a *performance* deste sistema e aumentar a percentagem de energia produzida a partir de fontes renováveis a nível global, a Espanha e a Alemanha iniciam em 2004 a Cooperação Internacional das *Feed-in* (Oberberger *et al.*, 2004)

Portugal recorre às FIT, sendo o processo ainda complementado com concursos públicos. Inversamente aos restantes estados membros, Portugal adoptou por uma fórmula especial, estabelecida na legislação (Decreto-Lei nº 189/88, com a última redacção dada pelo Decreto-Lei nº 225/2007) para o cálculo das FIT. Esta fórmula considera não só os custos evitados por se gerar energia a partir de uma fonte renovável, mas também os custos provenientes da energia produzida de acordo com as diferentes tecnologias utilizadas. Esta tarifa é ajustada periodicamente de acordo as diferenças de cada variável existentes na fórmula ao longo do tempo (tais como inflação). Deste modo, de acordo com a diferente tecnologia, são estipuladas diferentes FIT.

Actualmente a tarifa aplicada à biomassa florestal é de 107-109 €/MWh (PNAER, 2010). Entre Estados membros esta tarifa também varia ligeiramente, o que pode fazer com que países exportem biomassa para outros cuja tarifa seja mais vantajosa (Tabela 2.1). Actualmente isto verifica-se em Portugal, que exporta biomassa para Itália, o que traz problemas a nível de disponibilidade do recurso para alimentar as próprias centrais (Netto, 2008).

De modo a inverter esta tendência, a nova directiva dos combustíveis entra com as emissões de Carbono adjacentes ao ciclo de vida dos combustíveis, fazendo com que as emissões provenientes do transporte na exportação de biomassa sejam contabilizadas, podendo regularizar este panorama (CE, 2009).

Tabela 2.1 - Tarifas de aquisição para a produção de energia eléctrica a partir de biomassa (Oberberger & Thek, 2004; DL nº 33-A/2007 )

País	Tarifa de aquisição (€/Mwh <sub>e</sub> )
Portugal	107 - 109
Áustria	130 – 150
Bélgica	100 – 125
Espanha	118 – 128
Itália	105 - 130

### 2.3 – Coberto Vegetal

O coberto vegetal do território Português representa cerca de 37% da sua área total, o que corresponde a cerca de 3 541 000 ha de floresta (AFN, 2010<sub>a</sub>). De acordo com os gradientes de temperatura, pluviosidade e humidade relativa da atmosfera pode-se observar algumas variações na estrutura e composição florística das florestas. A temperatura média anual aumenta de norte para sul, a precipitação diminui de norte para sul e do interior para o litoral, ao contrário da amplitude térmica que aumenta do litoral para o interior. Estas características permitem que todo o território de Portugal Continental apresente bastante variedade relativamente à sua vegetação (IM, 2010).

De acordo com o recente Inventário Florestal Nacional (AFN, 2010), divulgado a 7 Setembro 2010, as espécies predominantes no coberto vegetal são essencialmente o Pinheiro Bravo

(27%), Eucalipto (23%) e o Sobreiro (23%), também com alguma expressão podemos encontrar a Azinheira (13%), distribuídas de um modo heterogéneo (Figura 2.1).

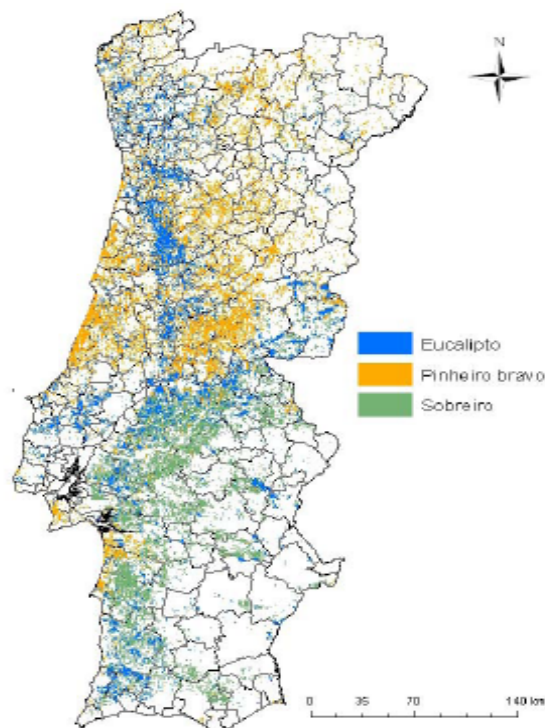


Figura 2.1 - Distribuição das espécies no coberto vegetal predominantes no Continente (DGRF, 2001)

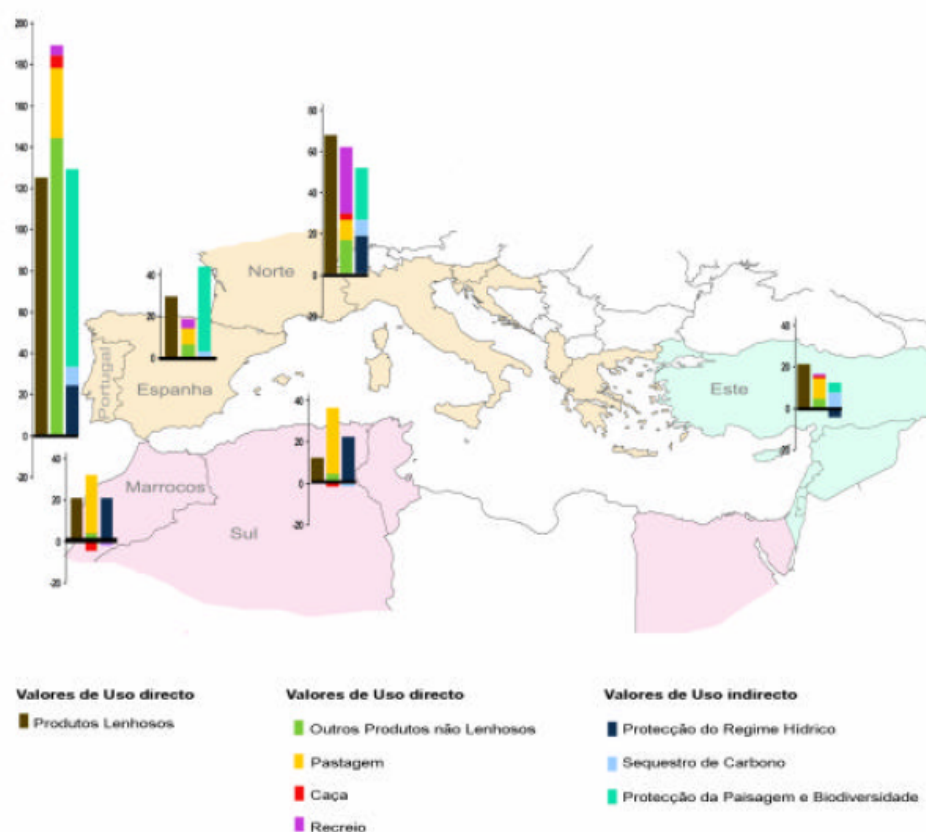
A floresta portuguesa apresenta diferentes taxas de arborização nas várias regiões do país, e é no interior-norte que a taxa de arborização é maior, tendo em conta a quantidade de biomassa em peso seco, pois predominam espécies como o pinheiro bravo e o eucalipto. Já a sul observa-se maioritariamente a presença de sobreiros e azinheiras (AFN, 2010). De um modo geral, o uso dos solos é distribuído por Floresta (39%), Matos (22%), Águas Interiores (2%), Agricultura (33%), Outros Usos (5%) (AFN, 2010). A propriedade da floresta portuguesa é essencialmente privada, cerca de 86% da sua totalidade. Contudo o regime de propriedade privada varia ao longo do continente. A Sul predominam explorações agro-pecuárias de grandes dimensões, enquanto a Norte verificam-se pequenos proprietários. Estas áreas fragmentadas e de reduzidas dimensões podem trazer desvantagens na sua disponibilidade, impossibilitando economias de grande escala (AFN, 2010).

## 2.4 - Valor Económico da Floresta

A floresta tem um papel bastante importante na economia, não só a partir dos seus produtos e subprodutos, como também através de variáveis difíceis de contabilizar tais como: protecção contra a erosão, abrigo de fauna, beleza cénica, recreação, etc. Como tal a gestão florestal apresenta-se como uma prioridade de modo a que a longo prazo seja possível tirar o melhor proveito dos recursos que oferece, sem com isso afectar a própria sustentabilidade da floresta. Deste modo são utilizados instrumentos de gestão e processos de planeamento, que balizam as orientações estratégicas e de reflorestação, quer a nível nacional quer regional (DGRF, 2006), tais como:

- O Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT) que estabelece as linhas de orientação para o território de Portugal Continental, o Plano Regional de Ordenamento do Território (PROT) que apenas se aplica à escala regional e ainda os Planos Especiais de Ordenamento do Território (PEOT) que incluem áreas protegidas, orlas costeiras e as albufeiras de águas públicas;
- Os Planos Regionais de Ordenamento Florestal (PROF) que regulam a utilização dos espaços florestais e estabelecem a sua organização;
- Os Planos Directores Municipais onde se estabelece o regime de uso do solo e respectivos parâmetros de aproveitamento garantindo a qualidade ambiental.

Para além dos instrumentos de gestão florestal já mencionados estão também inevitavelmente relacionados, o Programa Nacional para as Alterações Climáticas, a Política Energética Nacional e a Estratégia Nacional de Conservação da Natureza e da Biodiversidade e o Programa Nacional de Combate à Desertificação (Loução, 2008). Todos os objectivos destes instrumentos convergem para que se preserve e se rentabilize ao mesmo tempo os recursos florestais. Em Portugal este argumento ganha especial ênfase, pois é a nível mundial um dos países onde a floresta tem um peso significativo no Produto Interno Bruto (PIB), estando inclusive acima da média europeia (AFN, 2010). A comparação do valor económico de cada hectare da floresta portuguesa com de outros países da bacia mediterrânica (Figura 2.2) permite concluir que Portugal apresenta valores bastante superiores de riqueza extraída de um hectare de terra (344 euros/ha) do que qualquer outro país do Mediterrâneo, incluindo a França (292 euros/ha) e Espanha (90 euros/ha) (DGRF, 2006).



Nota: Espanha não inclui o valor económico da caça e da protecção de regime hídrico;  
Marrocos não inclui o valor económico do recreio e da protecção da paisagem e biodiversidade.

Figura 2.2 - Comparação entre as componentes do valor económico total do sector florestal dos países da bacia Mediterrânica (euros/ha) (DGRF, 2006)

A AFN estima que a floresta portuguesa gera mais de 113 mil empregos directos, sendo que as indústrias da pasta de papel e a fileira da cortiça são as que maior peso apresentam, gerando respectivamente 4 mil e 12 mil empregos directos (AFN, 2010). Estes são também os principais produtos exportados pelo sector florestal, sendo que a nível global cerca de 10% das exportações têm origem na floresta portuguesa (AFN, 2009). O comércio dos produtos florestais é um sector essencialmente exportador. Nos últimos anos, quer as exportações quer as importações, apresentaram uma tendência de crescimento, embora os diferentes produtos apresentem diferentes resultados ao longo do tempo (DGRF, 2007).

A cortiça e o papel destacam-se dos restantes produtos pelo seu crescimento constante. Portugal é líder mundial na produção de cortiça, no entanto esta tem vindo a decrescer no que toca a exportações, inversamente ao que se verifica no sector do papel, que já começa a ter ser mais representativo na balança comercial (AEP, 2008). Já o sector resinheiro, à semelhança dos restantes países europeus, tem vindo a perder mercado (AEP, 2008). No que se refere à madeira ambos os fluxos, de entradas e saídas, têm vindo a aumentar e o seu mercado é

essencialmente o europeu, sendo que o mercado espanhol absorve metade da madeira serrada exportada (AEP, 2008). O sector de mobiliário apresentou um crescimento mais acentuado em 2001, estabilizando de seguida, sendo que agora voltou a crescer, quer nas exportações quer nas importações (AEP, 2008).

De um modo geral, a balança comercial de produtos florestais apresenta, tradicionalmente, um saldo positivo (INE, 2009) (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Principais entradas e saídas dos produtos do sector florestal no ano 2008  
(INE, 2009)

<b>Produtos</b>	<b>Entradas</b> Unidade 1000 €	<b>Saídas</b> Unidade 1000 €
Papel e Cartão	1 073 259	1 143 285
Cortiça	119 892	791 436
Total Madeira	537 253	609 217
Mobiliário	255 261	277 017
Produtos Resinosos	42 899	33 526
Pastas de Madeira	46 336	473 470

O sector florestal tem também uma elevada importância em termos de Valor Acrescentado Bruto (VAB), cerca de 3% do total (AFN, 2010). Progressivamente, tem-se verificado um aumento do VAB (Figura 2.3), não só no sector florestal, como também no da caça e no da pesca das águas interiores, muito devido ao incremento na criação de associações e fundos de investimento florestal, peças chave na dinamização da pequena e média propriedade florestal (AFN, 2010).



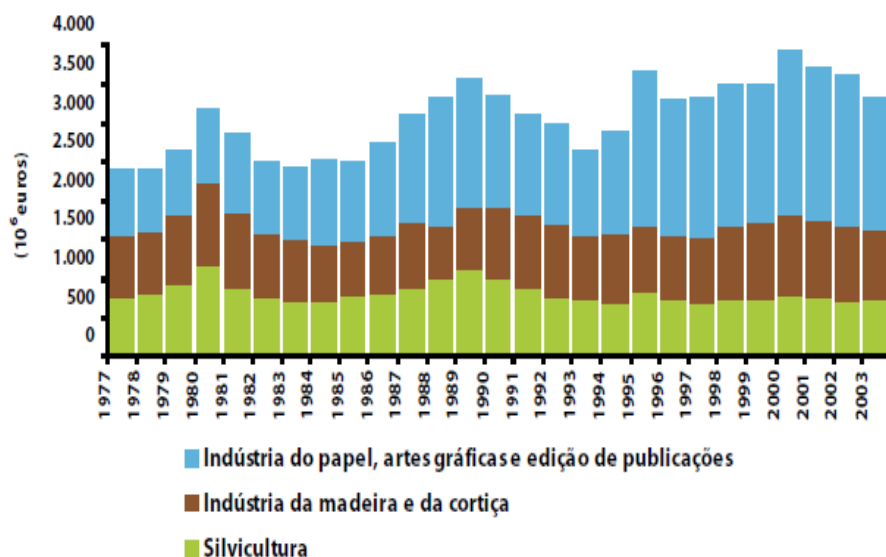


Figura 2.3 - Evolução do Valor Acrescentado Bruto (VAB) do Sector Florestal, a preços correntes, relativos ao ano de 2003 (INE, 2003)

## 2.5 - Valor Ambiental da Floresta

O valor das florestas não pode ser considerado única e exclusivamente económico. Como referido anteriormente, são várias as riquezas que se podem retirar do sector florestal que não produtos comercializáveis. Uma das principais funções da floresta, à escala global, é como sumidora de carbono (Miguel, 2006).

O carbono, nomeadamente sob a forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), está inevitavelmente relacionado com as alterações climáticas e consequentemente com o aquecimento global. Os principais mecanismos de redução de CO<sub>2</sub> traçam-se pela redução de emissões de combustíveis fósseis, pelo aumento da eficiência energética e pela gestão sustentável das florestas. Face ao aumento da população mundial, bem como das suas exigências energéticas, torna-se difícil haver uma redução significativa dos consumos de fontes de energia fóssil, mesmo com a ascensão das FER. Assim sendo, torna-se bastante atractivo o papel das florestas como um natural sumidouro de carbono. As florestas, aquando da exposição solar, absorvem o CO<sub>2</sub> acumulando-o na biomassa e transferindo-o para o solo, pela decomposição da matéria orgânica, libertando assim O<sub>2</sub> para a atmosfera. Este processo, denominado fotossíntese, permite que as vastas áreas de floresta possam absorver grandes quantidades de CO<sub>2</sub> da atmosfera, contribuindo para um balanço mais positivo de GEE.

São muitos os estudos que ajustam equações de sequestro de carbono, de acordo com as espécies florestais e respectivo teor de biomassa. As principais espécies florestais dominantes em território nacional, tais como o carvalho (*Quercus pyrenaica*), o pinheiro bravo (*Pinus pinaster*) e o Eucalipto (*Eucalypto globulus*) sequestram o carbono diferentemente (Nunes, 2008; Pereira, 2007) (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 - Sequestro de Carbono por espécie florestal  
(Adaptado de Nunes, 2006; Pereira, 2007)

<b>Espécie Florestal</b>	<b>Carbono Total</b> (ton. C / ha. Ano)
Carvalho ( <i>Quercus pyrenaica</i> )	5,766
Pinheiro bravo ( <i>Pinus pinaster</i> )	5,675
Eucalipto ( <i>Eucalypto globulus</i> )	7,45

As florestas também apresentam papel fundamental na regulação hidrológica, na medida em que a presença de árvores e dos seus sistemas radiculares influenciam directamente os processos de infiltração e escoamento superficial da água. O facto das copas interceptarem mais água e a canalizarem ao longo do tronco, e ainda o gotejamento, faz com que os solos sejam mais permeáveis e tenham maior capacidade de retenção de água do que um solo descoberto (AFN, 2009). O coberto vegetal influencia também a conservação dos solos, quer pelo processo de translocação de nutrientes, das camadas mais profundas para a superfície, aquando através da decomposição da matéria orgânica são devolvidos nutrientes que tinham sido absorvidos pelas raízes, quer pelo papel fundamental no combate a sua desertificação. As copas das árvores permitem proteger o solo do embate directo de chuvas torrenciais, assim como as suas raízes promovem a infiltração da água, mecanismos estes que permitem reduzir os impactes de erosão do solo, nomeadamente nas zonas de maior declive, contribuindo ainda para a regulação do ciclo da água (Pereira, 2008).

Os ecossistemas das regiões de clima mediterrânico são bastante ricos em fauna e flora, constituindo *hotspots* de biodiversidade (AFN, 2009). Mais de metade da flora presente na Bacia Mediterrânica são espécies endémicas, isto é, apenas existem nesta região, nomeadamente o sobreiro (APA, 2010). Nos diversos *habitats* a floresta assume funções tanto de alimento, como de abrigo ou mesmo de nidificação às mais variadas espécies. Algumas delas encontram-se em perigo, tais como o lince Ibérico (*Lynx pardinus*), um dos felídeos mais ameaçados e a águia imperial (*Aquila adalberti*) (Pereira, 2008). A maior ameaça às florestas e

á sua diversidade é a desertificação e a sua principal causa é a pressão antropogénica. No entanto, de modo a evitar a sua degradação, foram implementados dois mecanismos de certificação dos produtos florestais de modo a que se assegure ao consumidor que não está a contribuir para a degradação do ecossistema florestal. (FSC, 2010).

## **2.6 – Incêndios Florestais**

A floresta, de modo a fundamentar os planos de ordenamento e utilização dos recursos naturais, tem de ser encarada como um capital natural, em que o seu valor económico corresponde ao valor actual dos bens e serviços a que dá origem (PNDFCI, 2005). Assim sendo, qualquer fenómeno ou actividade que prejudique a sua integridade é, não só ambientalmente como economicamente, ameaçador. Uma das principais ameaças á floresta são os incêndios.

A Europa Mediterrânica é a zona onde se registam maiores ocorrências de fogos e com uma maior área ardida (Figura 2.4), devido a vários factores como a sua localização geográfica, condições climáticas, nomeadamente as elevadas temperaturas e escassez de precipitação que se observa no Verão mas, também, devido à abundância de vegetação arbustiva, tais como espécies de pinheiro e eucaliptos que são bastante inflamáveis (Pereira *et al.*, 2006) Contudo, os fogos também têm origem criminosa e negligente aquando uma má gestão da floresta. É neste sentido, que um pouco por toda a Europa, são cada vez mais as campanhas anti-fogos.

Segundo o relatório anual divulgado pela Joint Research Centre, Portugal é um dos países mais afectados ocupando o 2º lugar de área ardida no ano 2009, que chegou aproximadamente aos 87 416 ha, apenas superada pela Espanha que atingiu 110 782 ha (JRC, 2009). Em 2003 só durante o dia 2 de Agosto arderam cerca de 100 000 ha. Num único dia ardeu tanto ou mais do que era habitual arder num ano inteiro de acordo com o relatório da Comissão Eventual para os Incêndios Florestais divulgado pelo Ministério da Agricultura em 2004 (DGRF, 2004). São nos meses mais secos de Verão que se registam a maioria destes fogos e principalmente na zona do Norte do país, derivado ao seu coberto vegetal onde abundam pinheiros e eucaliptos, mas também muito devido às dificuldades de acesso facilitando a sua propagação.

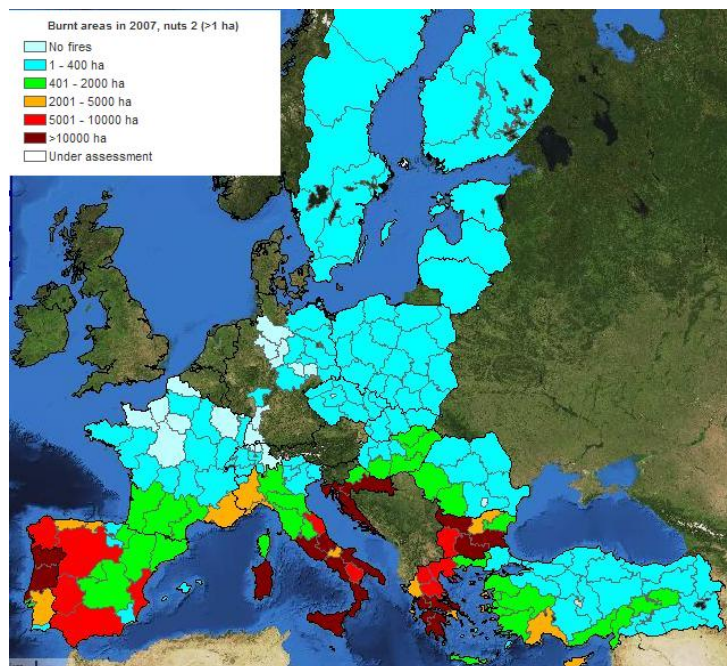


Figura 2.4 - Distribuição das Áreas Ardidas na Europa  
(European Forest Fire Information System, 2007)

Embora em 2009 tenha aumentado bastante a área ardida relativamente ao ano de 2008, continua bem abaixo da média da última década, muito devido aos valores elevados, relativos ao ano de 2003 e 2005 (Figura 2.5).

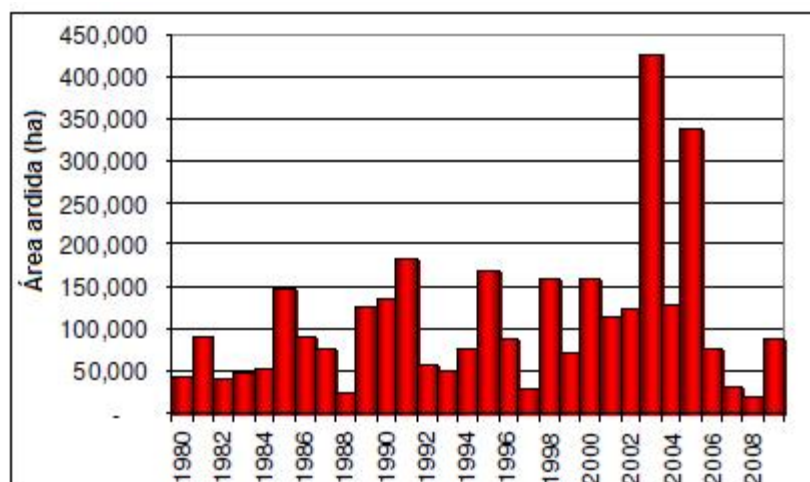


Figura 2.5 - Área ardida anualmente na Europa (JRC, 2009)

Diariamente o Instituto de Meteorologia (IM) divulga o Índice de Risco de Incêndio - FWI (*Fire Weather Index*) adoptado em 1998 e publicado diariamente desde 2002. Este índice, desenvolvido pelo Serviço Canadano de Florestas, é utilizado por vários países do mundo, em particular na Europa. É um índice cumulativo, ou seja, representa as condições observadas

tanto nesse dia, como a sua evolução ao longo do tempo, englobando variáveis como a temperatura do ar, humidade relativa, velocidade do vento e quantidade de precipitação ocorridas nas últimas 24 horas. O índice final FWI é distribuído segundo a classe distrital de risco de incêndio, segundo cinco classes de risco: Reduzido, Moderado, Elevado, Muito Elevado e Máximo (IM, 2010). Na época de Inverno, este índice não deixa de ser calculado, mas sim reduzido a três classes: Baixo, Médio, Alto (IM, 2010).

O IM usa ainda um segundo índice o *Daily Severity Rating* (DSR) que é função do FWI. Este índice reflecte o esforço requerido para a extinção de um fogo, embora mais preciso que o FWI, também mede apenas as condições meteorológicas que podem originar fogos, não entrando com os padrões de ignição ou os recursos disponíveis para o seu combate (Soares e Pereira, 2008). Na Figura 2.6 e na Figura 2.7 são apresentados, respectivamente, um exemplo da distribuição do FWI nos distritos do Continente (IM, 2010) durante o dia 12 de Setembro de 2009 (dia particularmente quente e seco) e a variação anual do DSR em Portugal, relativa ao ano de 2009 (CE, 2010).

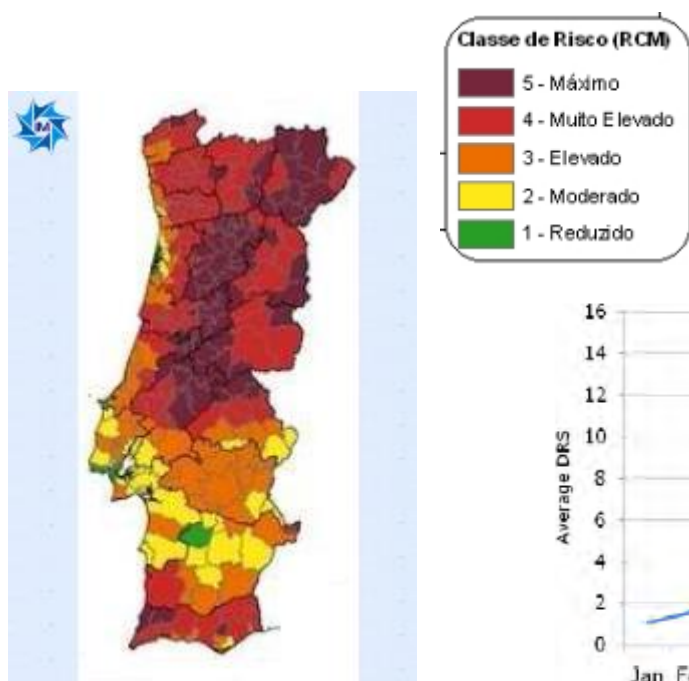


Figura 2.6 - FWI por Distrito 12-09-2009 (IM2010)

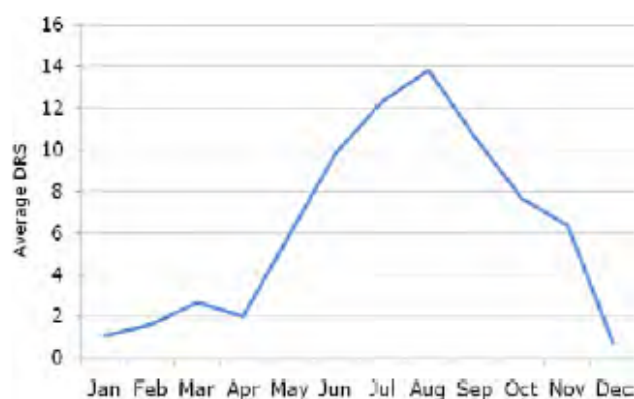


Figura 2.7 - Variação do DRS ao longo do ano 2009

Como se pode observar, de acordo com as classes de risco (IM, 2010) Portugal, particularmente no Norte e no Centro, é bastante sensível à ocorrência de fogos e, é com base nesta tendência e nos incidentes dos últimos anos que o Governo estipulou um conjunto de

objectivos no Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PNDFCI) estabelecido pela Resolução do Conselho de Ministros nº 65/2006. Este plano actua sobre cinco eixos de actuação:

- 1 Aumento da resiliência do território aos incêndios florestais
- 2- Redução da incidência dos incêndios
- 3- Melhoria da eficácia do ataque e da gestão dos incêndios
- 4- Recuperar e reabilitar os ecossistemas
- 5- Adaptação de uma estrutura funcional e eficaz

Para além dos objectivos é também atribuído um quadro de responsabilidades bastante claro. As acções de prevenção estrutural estão a encargo da AFN, a vigilância, detecção e fiscalização à Guarda Nacional Republicana (GNR) e o combate ao Serviço Nacional de Bombeiros e Protecção Civil (SNBPC). As soluções apresentadas no plano para além de reajustamento das funções e responsabilidades das instituições envolvidas têm também como base uma melhoria da eficácia nas acções de prevenção, vigilância, detecção e fiscalização numa maior capacidade operacional e numa maior unidade de planeamento, desde a direcção ao comando das operações e socorro. De modo a otimizar estes objectivos, reforça-se também a participação a nível municipal desenvolvendo os Planos Municipais de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PMDFCI), em que as principais acções são concretizadas através de um Plano Operacional Municipal (POM) (PNDFCI, 2006).

Os impactes derivados dos incêndios dependem da sua intensidade, que por sua vez depende das condições meteorológicas, do combustível queimado e do declive do terreno. As consequências mais graves são, sem dúvida, a perda de vidas humanas, aliadas à destruição do património pessoal das populações. Contudo, a nível ambiental, os fogos apresentam consequências que podem atingir proporções graves.

De acordo com Silva (2006) as principais consequências, a nível do solo, resultam da combustão directa da folhada e do horizonte orgânico, o que leva a que o solo fique enriquecido em cinzas, ou seja, nutrientes sob a forma mineral. Embora este procedimento seja utilizado para o aumento de fertilidade dos solos, aquando uma combustão controlada, os incêndios apresentam consequências bastante prejudiciais, pois para além de não haver uma reposição de uma parte significativa da matéria orgânica, há também o factor de as primeiras ocorrências de precipitação conduzirem a um arrastamento dos nutrientes minerais para profundidades fora do alcance das plantas, afectando deste modo a fertilidade dos solos. Esta

diminuição do teor de matéria orgânica diminui a porosidade do solo reduzindo assim a capacidade de retenção e de infiltração de água. Se o incêndio for de grande intensidade pode, inclusive, criar uma camada superficial com propriedades hidrofóbicas, o que leva a um escoamento superficial durante a ocorrência de chuvas, contribuindo para a erosão do solo (Silva, 2006).

Um dos efeitos que se fazem sentir, directamente e de imediato, é a emissão de gases derivados da combustão e que são sobretudo vapor de água e CO<sub>2</sub>. Como referido anteriormente, as emissões de CO<sub>2</sub> são uma grande preocupação que envolve esforços a todos os níveis para a sua redução na atmosfera. Os incêndios trazem um prejuízo duplo, não só por emitirem CO<sub>2</sub> em grandes quantidades para a atmosfera, como também por destruírem os mais importantes sequestradores deste GEE – as árvores.

A nível do coberto vegetal *“o efeito mais drástico (...) é a mortalidade imediata de todas as plantas”* (Silva, 2006). Algumas plantas, com espessura suficiente na casca, apresentam alguma resistência aos incêndios, como é o caso do pinheiro bravo e sobreiro. Contudo muitas delas nunca chegam a recuperar totalmente dos danos sofridos, nomeadamente na diminuição do crescimento derivado da redução da capacidade fotossintética (Silva, 2006). Quando fragilizadas, as plantas ficam também mais expostas a doenças e pragas, o que pode originar a sua morte, após o período de incêndio. A nível da fauna, as consequências são, como nas plantas, a morte directa ou indirectamente por falta de alimento, resultante do desaparecimento das comunidades vegetais. No entanto podem proliferar comunidades de insectos, perante a oportunidade de colonizar o novo meio, o que consequentemente originará o surgimento de aves insectívoras, não só para alimentação como para nidificação, caso não dependam da existência de folhas (Silva, 2006).

De um modo geral, os incêndios trazem consequências a nível do ecossistema, pois constituem uma ruptura abrupta de ciclos e cadeias que dele fazem parte. Após um incêndio, as comunidades demoram bastante tempo até total recuperação, especialmente em ecossistemas resultantes de anos de evolução (Silva, 2006).





### 3. PROCESSAMENTO DA BIOMASSA FLORESTAL RESIDUAL

A biomassa florestal é o combustível mais antigo já que sempre foi usado pelo Homem nos primórdios da civilização, até aos dias de hoje. Actualmente ainda apresenta um peso considerável como fonte de energia, sobretudo em países em desenvolvimento, chegando a representar cerca de 35% da total energia primária produzida e a nível mundial é o quarto recurso energético mais utilizado fornecendo aproximadamente 14% das necessidades energéticas mundiais (Demirbas, 2004). Em Portugal a biomassa residual florestal (BFR) apresenta um papel significativo na produção de electricidade, com mais de 400 MW instalados actualmente, em co-geração e em centrais dedicadas, sendo que em 2006 foram lançados 15 concursos para a atribuição de 100 MW potência de modo a se atingir os 250 MW de potência de centrais a biomassa florestal dedicada, somando aos 150 MW licenciados em Pedidos de Informação Prévia (PIP) não incluídos nestes concursos (APREN, 2010).

#### 3.1 – Sistema de Exploração de Biomassa Florestal Residual

A definição de biomassa presente na Directiva 2003/30/CE consiste na *fracção biodegradável de produtos e resíduos da agricultura (incluindo substâncias vegetais e animais), da silvicultura e das indústrias conexas, bem como a fracção biodegradável dos resíduos industriais e urbanos* (CE, 2003). Na presente dissertação será apenas considerada a componente de BFR, que pode ter diversas origens. Um sistema de exploração de BFR pode ser considerado uma cadeia de operações florestais constituída por dois grupos, um de produção da biomassa florestal e outro de logística de abastecimento (Figura 3.1). Considera-se ainda um terceiro grupo que consiste nas tecnologias de conversão da biomassa em energia.



Figura 3.1 - Esquema geral de um sistema de exploração de BFR

### 3.1.1 – Produção de BFR

A BFR é um subproduto de actividades realizadas com o intuito de produzir um determinado produto final, assim sendo, podem ser várias as origens da BFR. É na gestão dos povoamentos florestais que se verifica o maior contributo para a produção de BFR, contudo são descritas em baixo outras actividades relevantes na sua disponibilidade:

- Gestão dos povoamentos florestais
- Actividade Industrial
- Gestão Municipal

Integrados na gestão dos povoamentos florestais são várias as actividades que produzem BFR. O corte final ou de regeneração corresponde ao corte de todo o povoamento de modo a poder ser comercializado. Depois de abatidas, as árvores são desramadas, descascadas e toradas para poderem ser transportadas. Dadas as grandes dimensões da biomassa recolhida, este processo exige maquinaria adequada, nomeadamente para a remoção dos cepos (CBE, 2004). Desta operação, a BFR insere-se na componente sem valor comercial da árvore: folhas, cascas, os ramos, a bicada e, em alguns casos, os cepos.

O desbaste consiste na remoção selectiva de determinadas árvores num povoamento como uma estratégia de melhoria de rendimento de produção, diminuindo a competitividade entre árvores, seleccionando as melhores para comercialização antecipada (desbaste pelo alto) ou mesmo eliminar árvores doentes. Os desbaste efectuados são normalmente pelo baixo, ou seja, remove-se uma percentagem da área basal do povoamento, em que a área basal consiste no somatório da área seccional das árvores do povoamento a uma altura de 1,3 metros (Páscoa, 2001). Quando este corte selectivo inclui árvores jovens, é possível aproveitar o material na sua totalidade, obtendo-se uma estilha de alta qualidade, pois a proporção de fuste em relação à copa é maior, para o caso do pinheiro bravo (Hakkila, 2004).

À semelhança do desbaste a desramação permite controlar a qualidade da biomassa, nomeadamente neste caso, a qualidade do fuste. Com este processo permite-se obter uma configuração do fuste direita e sem nós. Alguns autores defendem que é mais vantajoso deixar a biomassa recolhida no local, para melhorar a fertilidade do solo, pois esta operação produz uma estilha de baixa qualidade, no entanto a desramação em simultâneo com o desbaste, poderá viabilizar todo o processo por contribuir para uma maior produção de BFR (Infante & Veiras, 2004).

Os cortes sanitários são usados como um controlo de pragas de insectos, procedendo-se por vezes ao corte de áreas consideráveis. É o caso do nemátodo do pinheiro que obriga anualmente ao corte raso de povoamentos de pinheiro bravo.

Relativamente às actividades industriais, as que podem produzir BFR são inevitavelmente as indústrias relacionadas com produtos madeiros, nomeadamente a que utiliza e transforma madeira, gerando resíduos passíveis de serem valorizados energeticamente, tais como (Santana, 2008):

- Casca/carrasca – do descasque dos toros do pinheiro;
- Buchas – troncos de pequenas dimensões ou irregulares recusados de serração;
- Costaneiras/falheiros – secções longitudinais que sobram da serração dos toros;
- Estilha – do destroçamento intencional de buchas, costaneiras ou outras madeiras;
- Fitas/tiras – granulado mais ou menos fino da serração e lixagem;
- Troços/restos – pedaços do corte e maquinação de pequena dimensão.

Já a indústria transformadora da pasta de papel é um potencial utilizador dos resíduos para fins energéticos, com o aproveitamento do licor negro como matéria-prima para combustão, gaseificação ou pirólise de modo a produzir calor necessário aos processos industriais da fábrica.

Com um impacte menos significativo, apresentam-se os resíduos florestais provenientes das operações de limpeza de jardins e parques urbanos resultantes da gestão municipal. Nestes podem se verificar operações de desramações ou mesmo cortes finais gerando BFR. A sua valorização energética é, no entanto, uma alternativa interessante a este tipo de resíduos urbanos.

### 3.1.2 – Logística

A recolha e processamento da biomassa estão condicionados por vários factores, como o declive, a densidade e estado da rede viária, o tipo de povoamento florestal, a distância para os centros de consumo ou mesmo o impacte ambiental adjacente. Todos estes factores são também ponderados numa óptica económica de modo a se obter o maior rendimento financeiro na exploração da BFR (ENERSILVA, 2007).

Um sistema de exploração de BFR envolve uma logística geral com diversas fases. A primeira consiste no transporte primário onde a biomassa é levada para um parque de pré-tratamento

ou carregadouro por intermédio de um tractor agrícola, *forwarder* ou por camião (Figura 3.2). Os parques de pré-tratamento são dimensionados de acordo a se garantir a capacidade de tratamento da BFR otimizando alguns processos, mas também considerando o mercado potencial nas proximidades, assegurando a colocação do produto. A distância máxima de transporte de BFR em natureza não pode exceder os 20km dos parques de pré-tratamento e até cerca de 90 km até ao consumidor final (CBE, 2008).



Figura 3.2 - Rechega da biomassa com um camião com grua e com um *forward* (CBE, 2004)

Após o transporte para o parque de pré-tratamento, seguem-se uma série de operações necessárias a tornar a biomassa recolhida em natureza mais homogénea com características adequadas à sua valorização. Caso a biomassa não tenha sido tratada é necessário proceder-se às operações descritas anteriormente (descasque, desrama ou toragem). No entanto, as principais operações de tratamento da BFR são a trituração, crivagem e enfardamento.

A trituração ou estilhaçamento é fundamental a nível de transporte, pois rentabilizará melhor o espaço disponível, facilitando também o seu manuseamento e alimentação em centrais de conversão. O produto gerado por este processo é a estilha com um comprimento entre 1 e 10 cm, largura até 4 cm e podem-se dividir em três categorias comerciais: corte fino <3cm, corte médio <5cm e corte grosso <10cm (IST, 2004). Esta operação é realizada por estilhaçadores que podem ser móveis de rotação rápida, cujos órgãos de corte são martelos e outros fixos, cujo órgão de corte é constituído por facas (CBE, 2004).

Quando o estilhaçamento é efectuado no próprio local da recolha da biomassa, são usados os estilhaçadores móveis (Figura 3.3) de pequenas dimensões de modo a terem boa mobilidade, contudo é necessário que hajam boas condições viárias no local bem como declives pouco acentuados. Esta máquina pode triturar a biomassa com facas ou martelos, e sendo as últimas peças bastante robustas, pode processar material com alguns contaminantes. Já os

trituradores de facas produzem uma estilha de maior qualidade (CBE, 2004). Dada a fragilidade das facas não é aconselhável a biomassa ter muitos contaminantes de modo a evitar o seu desgaste. Após a trituração há também uma importante operação no pré-tratamento da BFR, a crivagem onde ocorre a separação dos contaminantes, tais como pedras e areias.



Figura 3.3 - Estilhaçador Móvel (CBE, 2004)

Outra operação fundamental para otimizar o rendimento de um sistema de exploração de biomassa é o enfardamento, que consiste no aumento da densidade da BFR a ser recolhida, comprimindo-a e cortando-a em fardos cilíndricos presos por um fio, de acordo com as dimensões pré-definidas. O processo é efectuado através de enfardadeiras, que consistem numa máquina derivada de um *forwarder* ao qual se anexa uma grua, uma cabeça compressora e um sistema de corte (Figura 3.4) (CBE, 2004).



Figura 3.4 - Enfardamento de biomassa florestal residual num povoamento de pinheiro bravo percorrido por um incêndio (CBE, 2004)

Por fim, quando a BFR já se encontra devidamente tratada, é transportada do carregadouro ou parque de pré-tratamento até à unidade consumidora ou um terminal, operação denominada

de transporte secundário. As vias de transporte podem ser ferroviárias, fluviais ou rodoviárias. No entanto, em Portugal, é predominantemente efectuado por via rodoviária através de camiões ou por intermédio de um tractor com reboque, caso a distância seja relativamente curta.

O transporte da biomassa, quando efectuado por camiões, não deve exceder os 90 km, caso seja efectuado pelo tractor (no caso do parque de pré-tratamento ser relativamente próximo da unidade consumidora) a distância será consideravelmente menor (Saião, 2009). Os camiões mais usados são os basculantes (Figura 3.5) (Netto, 2008) ou com chão rotativo, que permitem descarregar a biomassa directamente para o terminal de uma maneira rápida e económica, no caso de camiões sem estes sistemas é necessário o recurso a outra maquinaria elevando os custos da exploração. Já o recurso à rede ferroviária não é muito utilizado pois, comparativamente com a rede viária que cobre grande parte das zonas florestais, não traz grandes vantagens (Dias, 2011).

Relativamente ao transporte de biomassa para o mercado internacional tem sido efectuado via fluvial, nomeadamente do porto de Sines e de Aveiro, em navios com capacidade para 5000 a 6000 toneladas de BFR, com principal destino a Itália (Netto, 2008).

É no transporte que a biomassa revela algumas fragilidades relativamente aos combustíveis fósseis, por exemplo o conteúdo em energia (PCI) de biomassa seca é aproximadamente 12-15 GJ/t em quanto o carvão apresenta valores de 20-25 GJ/t e a gasolina ~34MJ/l, o que faz aumentar os custos de produção (IEA, 2007b)



Figura 3.5 - Camião basculante a fazer descarga de estilha (Netto, 2008)

### 3.1.3 - Tecnologias de Conversão

Dada a definição de biomassa, presente na Directiva 2003/30/CE, são várias as tecnologias de conversão em energia que dependem da sua origem e características. Nesta dissertação serão omitidos processos biológicos, tais como a digestão anaeróbia, bem como as transformações químicas para a produção de biocombustíveis, sendo apenas considerados os principais processos termoquímicos como a combustão, pirólise e gaseificação.

O processo de combustão da biomassa ocorre essencialmente em três fases distintas: pirólise, desvolatilização e combustão (Sami, 2000). Pode-se ainda considerar uma primeira fase como aquecimento ou secagem, dos 50°C aos 100°C, onde ocorre a evaporação de toda a água contida na biomassa (Loo *et al.*, 2002).

Na fase da pirólise ocorre a decomposição térmica da biomassa, processo exotérmico lento que se inicia a temperaturas relativamente baixas (185-200°C), responsável pela quebra das ligações da hemicelulose levando à emissão de CO, CO<sub>2</sub> e etano (Sami, 2000). Quando as temperaturas atingem cerca de 360-560°C inicia-se a desvolatilização dos gases leves (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, partículas) bem como de hidrocarbonetos leves e pesados (alcatrões) (Sami, 2000). Relativamente ao carvão a biomassa apresenta um teor de matéria volátil bastante superior (entre 76% a 86% em base seca) influenciando fortemente a decomposição térmica e o comportamento da combustão (Oberberger, 2002).

Após a libertação dos voláteis dá-se a combustão do carbonizado (resíduo sólido remanescente, rico em carbono) que se inicia a uma temperatura de aproximadamente 550°C (Quaak *et al.*, 1999). O carbonizado apresenta uma porosidade que permitem a difusão do oxigénio para o seu interior levando à sua oxidação e a respectiva libertação de CO e CO<sub>2</sub> bem como algum vapor de água ainda presente (Sami, 2000). Este processo decorre durante um maior período de tempo que a desvolatilização, de onde resta apenas a componente mineral da biomassa em forma de cinzas (Figura 3.6) (Dias, 2002).



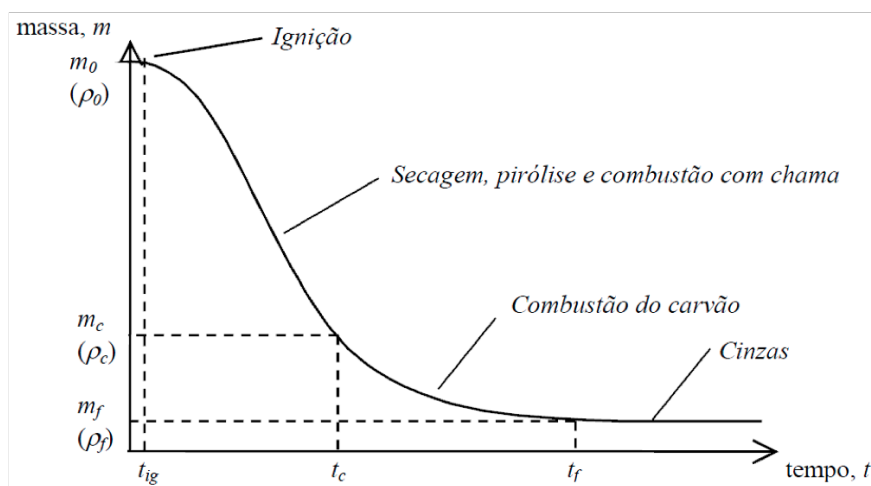


Figura 3.6 - Variação de massa uma partícula de biomassa ao longo do tempo durante a combustão (Dias, 2002)

A produção de electricidade com recurso a biomassa tem-se tornado numa alternativa à utilização de combustíveis fósseis em centrais termoeléctricas, quer em centrais dedicadas, quer por co-geração (Hein, 1998). A co-combustão, embora ainda recorra a combustíveis fósseis, nomeadamente o carvão, apresenta algumas vantagens tais como poder ser realizada em instalações já existentes, onde as pequenas adaptações nos sistemas de alimentação e tratamento de gases representam uma pequena fracção do que se teria de investir para a construção de uma nova instalação de mono-combustão dedicada (Abelha, 2005).

A pirólise é um processo térmico que consiste essencialmente na decomposição física e química da matéria orgânica na ausência de oxigénio, provocando o *cracking* das moléculas mais pesadas noutras de menor massa molecular, usualmente a temperaturas entre os 300°C e 1100°C e pressões não muito superiores à atmosférica (Gulyurtlu *et al.*, 2002). Os produtos originados na pirólise dependem do processo utilizado, tipo de reactor, variáveis do processo (temperatura, tempo de residência, tipo de solvente, catalisador, etc..) e também da composição da biomassa e podem-se apresentar como sólidos (resíduo carbonoso), gasosos ( $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ ) e líquidos (bio-óleo) que actualmente é o principal produto se pretende maximizar com este processo (IEA, 2007).

A gaseificação da biomassa consiste na combustão incompleta da biomassa sólida, de forma a originar um gás síntese composto essencialmente por hidrogénio, metano,  $CO$ ,  $CO_2$ , vapor de água e outros hidrocarbonetos mais pesados (IST, 2004). O gás síntese pode apresentar diferentes valores de PCI consoante o tipo de gaseificação a ser utilizada (Sami, 2000)

- Gás de baixo poder calorífico (3,5 – 7 MJ/m<sup>3</sup>)
- Gás de médio poder calorífico (10 – 20 MJ/m<sup>3</sup>)



### 3.2 – Características da Biomassa

Relativamente aos combustíveis fósseis, a biomassa apresenta uma elevada variabilidade em parâmetros como composição química orgânica e inorgânica, o seu conteúdo energético e as suas características físicas. Em suma apresenta um menor poder calorífico, maior teor de humidade, menor densidade, menor teor em carbono e enxofre e maior em oxigénio e azoto (Demirbas, 2004).

Para a sua caracterização são usadas duas análises distintas: a análise próxima e análise última. Na análise próxima pretende-se obter informações sobre as características de combustão da biomassa. Os principais parâmetros a serem analisados são o teor em humidade (TH), teor em cinzas (TC), matéria volátil (MV), carbono fixo (CF) sendo ainda calculada a razão entre estes dois últimos (MV/CF) que traduzem a importância relativa que as fases sólidas e gasosas terão no processo de combustão, denominada de razão combustível (Araújo, 2008). A viabilidade do uso de determinado combustível em processos térmicos pode ser comprometida através do valor da razão combustível, sendo que para valores inferiores a 30% pode ser inviável a sua utilização (Aresta *et al.*, 1997).

O TC resulta da componente inorgânica da biomassa que permanece após a combustão, que de acordo com a sua constituição resulta uma maior ou menor quantidade de cinza gerada (ASTM D3174). O conhecimento do TC da biomassa é essencial para a escolha da combustão apropriada e das tecnologias de limpeza de gases, assim como a formação de cinzas volantes, deposição de cinzas bem como a logística da sua utilização depende deste parâmetro (Biedermann, 2004). Elevados TC podem causar problemas de ignição e influenciar o comportamento da biomassa durante a combustão inclusive se apresentarem um ponto de fusão relativamente baixo podendo trazer problemas tais como incrustações e formação de escórias na câmara de combustão (Quaak *et al.*, 1999). A principal causa para estes problemas está relacionada com os teores em Cl, que está presente em pequenas quantidades da madeira, mas em maiores nas folhagens, e que durante a combustão forma-se cloretos de alquilo tais como KCl e NaCl consequência do arrefecimento aquando o contacto com as partes mais frias da caldeira (Biedermann, 2004; Quaak *et al.*, 1999).

O TH indica a quantidade de água contida na biomassa, expressa em percentagem e é determinante para a sua caracterização como combustível (Quaak *et al.*, 1999). A biomassa florestal, como produto natural, apresenta uma gama de valores de humidade bastante vasta, dependendo da sua espécie e do armazenamento que pode ir de 10% a 70% (Loo *et al.*, 2002). Para valores de TH superiores a 45%, a utilização da biomassa para processos térmicos torna-

se inviável (Aresta *et al.*, 1997). Os processos de desidratação da biomassa assumem deste modo um papel muito importante para a diminuição do seu TH, podendo ser através de secagem natural ou artificial, antes de ser triturado para obtenção de uma gama granulométrica apropriada ao sistema de combustão (Abelha, 2005).

A análise última permite obter informação sobre os elementos constituintes do combustível, em percentagem, tais como Carbono, Oxigénio, Enxofre, Azoto e Hidrogénio, fornecendo informações dos gases emitidos durante a combustão, nomeadamente  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  e vapor de água (Spliethoff, 1998).

Para além das análises próximas e últimas é também essencial caracterizar a qualidade da biomassa como combustível através de variáveis que afectam o processo de combustão. Duas das mais importantes variáveis são o Poder Calorífico Superior (PCS) e o Poder Calorífico Inferior (PCI). O PCS corresponde à energia libertada durante a combustão, por unidade de massa de combustível, quando a água se apresenta no estado líquido nos produtos de combustão, enquanto o PCI corresponde à energia libertada durante a combustão, por unidade de massa de combustível, quando a água se apresenta no estado gasoso nos produtos de combustão (Figura 3.7) (Loo *et al.*, 2002). É o PCI a propriedade mais usada para determinar o rendimento do combustível a nível energético (IST, 2004). Este parâmetro depende directamente do teor em hidrogénio e de humidade contido no combustível, sendo que quanto maior for o teor de humidade menor o PCI e consequente o respectivo rendimento energético (Quaack *et al.*, 1999).

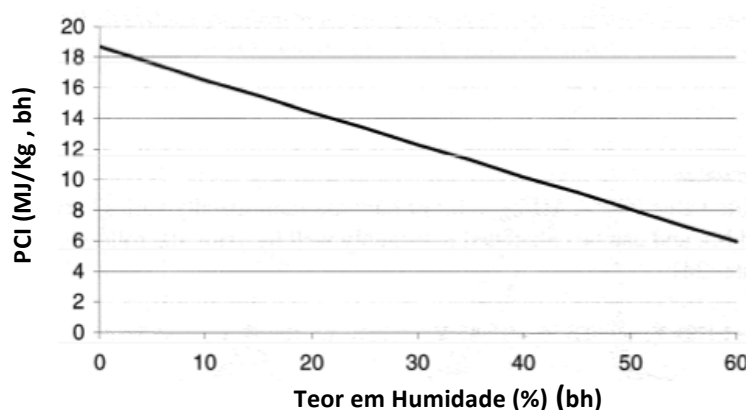


Figura 3.7 - PCI em função do teor em humidade num combustível de composição 50wt% C, 6wt% H e 44wt% O em base húmida (bh) (Loo *et al.*, 2002)

Relativamente às características físicas da biomassa uma das propriedades mais relevantes é a densidade de carga, que consiste no peso por unidade de volume, que pode ser expressa em base seca ou húmida, podendo variar de 150 a 200 kg/m<sup>3</sup> no caso de grãos de cereais ou de 600 a 900 kg/m<sup>3</sup> no caso de madeira sólida (Quaak *et al.*, 1999). A densidade de carga varia conforme a espécie de biomassa, forma e tamanho da peça e teor de humidade, e apresenta-se como um importante parâmetro a nível de logística e transporte pois reflecte a quantidade de biomassa que pode ser transportada ou armazenada (Sims, 2002).

As características dos combustíveis, biomassa e carvão são apresentadas na Tabela 3.1 (Demirbas, 2004; Spliethoff, 1998; Sami, 2000)

Tabela 3.1 - Características dos diferentes combustíveis, biomassa e carvão  
(Adaptado de Demirbas, 2004; Spliethoff, 1998; Sami, 2000)

Propriedades	Biomassa	Carvão
Matéria volátil (%)	78 - 85	34 - 52
Teor em Cinzas (%)	0,4 - 2,0	1,5 - 2,0
Carbono Fixo (%)	57,1 - 42,83	16,5
Razão Combustível	0,2 - 0,5	1,5 - 2,0
Teor em humidade (%)	10 - 60	2 - 10
Temperatura de Ignição (°C)	144 - 152	216 - 321
Pico de temperatura (°C)	286 - 301	-
% C (b.s.)	42 - 54	65 - 85
% O (b.s.)	35 - 45	2 - 15
% S (b.s.)	Max. 0,5	0,5 - 0,7
% SiO <sub>2</sub> (b.c.)	25 - 49	40 - 60
% K <sub>2</sub> O (b.c.)	4 - 48	2 - 6
% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (b.c.)	2,4 - 9,5	15 - 25
% FeO <sub>3</sub> (b.c.)	1,5 - 8,5	8 - 18
PCI (MJ/kg)	14 - 21	23 - 28
Densidade de carga (kg/m <sup>3</sup> )	~500	~1300

### 3.3 - Principais produtos

A BFR tem geralmente baixa densidade, quando comparada com os combustíveis fósseis, originando assim elevados custos de transporte que se reflectem no preço final da produção de energia (Dias, 2002). Uma das formas de melhorar a qualidade da biomassa, passa pela sua densificação (Werther *et al.*, 2000), tornando-a num combustível mais homogéneo, o que facilita não só o seu transporte como também melhora o seu comportamento na combustão

(Sousa, 2009). Deste modo algumas das principais vantagens da densificação da biomassa são (Werther *et al.*, 2000):

- Taxa de combustão comparável à do carvão
- Combustão mais uniforme
- Redução da emissão de partículas
- Melhoria das condições de armazenamento, transporte e alimentação

Os principais produtos de biomassa disponíveis no mercado, que podem ser usados em sistemas de combustão ou gaseificação são as estilhas, toros, *pellets* e briquetes.

### 3.3.1 - Estilhas

As estilhas provêm da trituração da madeira, através dos cortadores mecânicos descritos anteriormente. A sua uniformidade de tamanho, baixos teores em água (cerca de 20%) e a ausência de contaminantes (terra e pedras), são os requisitos para uma utilização eficaz em sistemas de aquecimento automatizados (Figura 3.9) (IST, 2004).

Este produto, juntamente com as serraduras, é a base para os produtos densificados (*pellets* e briquetes).



Figura 3.8 - Estilhas de alta qualidade (IST, 2004)

### 3.3.2 - Toros

A produção deste tipo de produto é a forma tradicional de preparação de madeira para fins energéticos (Figura 3.10) ([www.energiasrenovaveis.com](http://www.energiasrenovaveis.com)), resultando da serração da madeira em peças até 1 metro de comprimento de acordo com o dimensionamento das caldeiras do produtor (IST, 2004). Um toro de boa qualidade apresenta valores de humidade inferiores a 20% e um teor em cinzas de 0,5%, no entanto a alimentação nas caldeiras tem de ser manual (IST, 2004).



Figura 3.9 - Toros de madeira ([www.energiasrenovaveis.com](http://www.energiasrenovaveis.com))

### 3.3.3 - Pellets

As *pellets* consistem na densificação de estilhas ou serraduras não contaminadas, de modo a obter uma forma mecanicamente estável (Figura 3.10) ([verstegen.net](http://verstegen.net)), em que 6 a 8 metros cúbicos de estilhas de madeira ou serradura podem originar um metro cúbico de *pellets* de madeira (IST, 2004). As suas características estão normalizadas (Tabela 3.13), apresentando pequenas variações entre os países produtores deste material (Oberberger *et al.*, 2002). As *pellets* permitem o uso em sistemas de combustão automatizados (Dias, 2002).



Figura 3.10 - *Pellets* de madeira ([verstegen.net](http://verstegen.net))

### 3.3.4 - Briquetes

À semelhança das *pellets*, os briquetes (Figura 3.11) ([www.cnpae.embrapa.br](http://www.cnpae.embrapa.br), 2011) são compostos por serraduras ou estilhas densificadas numa proporção de 1 metro cúbico de madeira origina 450 kg de briquetes, ideais para sistemas de combustão pequenos e alimentados manualmente (IST, 2004). As suas características estão descritas na Tabela 3.13.



Figura 3.11 - Briquetes de madeira (www.cnpae.embrapa.br, 2011)

De acordo com as especificações para os combustíveis de biomassa densificados estão em vigor normas de modo a regulamentarem os seus critérios de qualidade. A Tabela 3.2 apresenta as normas mais relevantes nomeadamente a ONORM M 7135 (Áustria), a SS 18 71 20 (Suécia) e as normas da Austrian Pellets Association (Dias, 2002).

Tabela 3.2 - Valores máximos para os diferentes parâmetros de *pellets* e briquetes de madeira (Adaptado de Obernberger *et al.*, 2002)

Parâmetro	<i>Pellets</i> de madeira	Briquetes de madeira
Diâmetro (D) (mm)	4 - 10 <sup>(1)</sup>	40 - 120 <sup>(1)</sup>
Comprimento	< 5× D <sup>(1,3)</sup>	< 400 <sup>(1,3)</sup>
Densidade de carga (kg/dm <sup>3</sup> )	> 600 <sup>(2)</sup>	-
Teor de humidade (%)	< 10 <sup>(1,2,3)</sup>	< 10 <sup>(1)</sup>
Teor em cinzas (%)	< 0,5 <sup>(1,3)</sup>	< 0,5 <sup>(1)</sup>
PCI (MJ/kg bs)	> 18,0 <sup>(1,3)</sup>	> 18,0 <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>De acordo com a norma ONORM M 7135; <sup>(2)</sup> de acordo com a norma SS 18 71 20; <sup>(3)</sup> de acordo com as normas da *Austrian Pellets Association*.

### 3.4 - Sustentabilidade num Sistema de Exploração de BFR

O conceito chave da actualidade é sem dúvida o de sustentabilidade. Cada vez mais se pretende desenvolver um modelo, que permita o progresso com continuidade, assente em três pilares fundamentais: o ambiental, económico e social, e que transversalmente a eles se encontra outra vertente: a institucional, que engloba as formas de governação, sistemas legislativos e grupos de interesse da sociedade civil. Neste subcapítulo serão abordadas algumas perspectivas, quer ambientais, económicas e sociais num sistema de exploração de BFR.

### 3.4.1 - Perspectiva Ambiental

Um dos principais argumentos a favor da biomassa é de ser *carbono zero*. Contudo é importante referir que este conceito apenas se prende ao combustível em si e ao ciclo de carbono associado, pois quando analisado o sistema de exploração da biomassa observam-se emissões de GEE quer nos veículos de transporte e manuseamento da BFR (movidos maioritariamente a gasóleo), quer nos consumos associados nas centrais e parques de pré-tratamento. Embora as emissões de CO<sub>2</sub> sejam suavizadas pela mitigação do mesmo pelas plantas, a combustão da biomassa origina emissões de cerca de 30 Kg CH<sub>4</sub>/TJ e 4 Kg N<sub>2</sub>O/TJ (Eggleston, 2006). São usadas várias técnicas de minimização de emissões, por exemplo na Central de co-geração de biomassa com gás natural da Figueira da Foz são usados electrofiltros de elevada eficiência para diminuir a emissão de partículas e uma caldeira de leito fluidizado para a redução de CO e NO<sub>x</sub> emitidos (EDP, 2007). Contudo vários autores defendem que, comparativamente com os combustíveis fósseis, o seu uso permite uma redução bastante significativa de emissões de GEE. Yoshioka *et al.* (2005) estimou uma redução de cerca de 93,5% de CO<sub>2</sub> na combustão de biomassa em vez de carvão, já Whersaari *et al.* (2005) diz que 97-98% de emissões são evitadas a alternativa dos combustíveis fósseis.

Numa análise do balanço energético de *inputs - outputs*, comparando a energia consumida e energia produzida, um sistema de exploração de BFR apresenta-se como alternativa mais favorável à utilização de combustíveis fósseis. O rácio de energia pode ser de 2 a 10, ou seja, com recurso a biomassa, e contabilizando já com a energia dispendida nos processos de fertilização para compensar a remoção de matéria orgânica, pode-se produzir cerca de 2-10 unidades de energia eléctrica por unidade de energia fóssil consumida, sendo que um sistema de energias fósseis pode apresentar um rácio inferiores à unidade (Mann & Spath, 2000). O estudo de Yoshioka *et al.* (2005) confirma estes resultados estimando um rácio de energia de 5,69 numa análise profunda de ciclo de vida de um sistema de exploração de biomassa.

Uma das questões mais sensíveis da recolha da BFR prende-se exactamente ao facto de se estar a retirar matéria orgânica que contribuía para a fertilização natural do solo, pondo em causa a qualidade e dimensão do crescimento de novos povoamentos. Infante & Veiras (2004) estudam os impactes adjacentes à remoção dos resíduos de Pinheiro e Eucalipto numa área da Galiza afirmando que a extracção de madeira de Eucalipto pode ter como consequência a remoção entre 37 a 57% dos nutrientes limitantes (N, P, K, Ca e Mg), o que se incluir a remoção da casca aumenta para 71 a 75%, podendo até chegar ao valor de 90% caso sejam

removidos também os ramos. No mesmo estudo, relativamente ao Pinheiro, a remoção de madeira e casca leva a uma diminuição de 49 a 60% dos nutrientes acumulados pela árvore, podendo ser da ordem dos 70 a 90%, caso sejam removidos também os ramos, sendo que o Ca, K e o Mg são novamente os nutrientes mais afectados (Infante & Veiras, 2004). De modo a minimizar estes impactes são usadas algumas estratégias de gestão, nomeadamente a recirculação das cinzas de combustão, que permitem não só repor parte dos nutrientes removidos, como é um meio de corrigir a acidez dos solos evitando a aplicação de cal e evita também a sua deposição em aterro. Como tal, é importante também estudar a composição das cinzas de modo a analisar o conteúdo em metais pesados e outros possíveis contaminantes.

Os resíduos de biomassa têm também uma importante função na regulação dos recursos hídricos, podendo também funcionar como filtros melhorando a qualidade da água. Funcionam também como protecção da superfície do solo, pois diminuem a exposição directa às águas das chuvas e ao vento, minimizando assim os efeitos de escorrência e consequente erosão do solo. Deste modo é importante deixar alguma quantidade de BFR no local, tais como a folhagem e as raízes (EEA, 2006), não só a nível de aumento da produtividade do local como também para diminuir os impactes relacionados com os recursos hídricos e erosão do solo. Outro aspecto a considerar é a intensificação da actividade silvícola, que pode causar alguns impactes negativos na estrutura da biodiversidade da floresta, aquando a remoção excessiva de árvores e ramos, pois esta serve de *habitat* e refúgio para muitas espécies, especialmente em zonas protegidas (caso do sul da Europa que inclui áreas abrangidas pela rede Natura 2000), bem como o uso de maquinaria pesada que pode promover a compactação do solo (EEA, 2006).

#### 3.4.2 - Perspectiva Económica

Um sistema de exploração de BFR recorre a matéria-prima que não é exclusiva para a produção de energia. Deste modo, vê-se obrigado a competir com outras indústrias, quer a nível da biomassa no terreno, como a nível das áreas de cultivo. Deste modo as indústrias afectadas por sistemas de exploração de BFR podem ser a de serrações, competindo com a rolaria mas ganhando uma alternativa de escoamento de resíduos, já a indústria de aglomerados terá de competir pelo mesmo recurso (resíduos da indústria transformadora da madeira). A indústria da pasta de papel terá de competir pela rolaria, mas poderá utilizar os resíduos gerados para a produção interna de energia (Engelbrecht, 2006). Assim sendo, torna-



se importante assegurar o abastecimento da biomassa a custo aceitáveis, tendo em conta o mercado local, mas também considerando os mercados externos, de modo a evitar exportação de matéria-prima que origine problemas para os consumidores locais.

Como referido anteriormente os incentivos fiscais associados à promoção da biomassa tornam-se indispensáveis para que esta possa ser competitiva em relação aos combustíveis fósseis. Torna-se também importante assegurar um padrão de qualidade dos combustíveis produzidos a partir de biomassa e, é com base neste princípio que cada vez mais se uniformizam as características da biomassa. Deste modo pretende-se prevenir problemas relacionados com a variabilidade do combustível para a sua utilização em equipamentos que tenham restrições ou algumas especificações para operarem (IEA, 2007b), tais como alguns valores máximos de determinados parâmetros de *pellets* e briquetes, observados anteriormente na Tabela 3.2.

#### 3.4.3 - Perspectiva Social

Um sistema de exploração de BFR está sempre associado à exploração de espaços florestais que se encontram em zonas rurais pouco desenvolvidas do país. Mesmo as actividades desenvolvidas, quer na central de produção de energia quer nos parques de pré-tratamento, terão de estar a uma distância relativamente curta do povoamento florestal, permitindo assim fixar a população nessas zonas rurais, gerando postos de trabalho e trazendo desenvolvimento para a zona (IEA, 2007a).

As reduções de emissões de GEE, levada a cabo pela combustão de biomassa em vez de combustíveis fósseis, podem ser bastante significativas como referido anteriormente. Este facto leva a uma melhoria da qualidade do ar diminuindo assim o risco de doenças respiratórias. A remoção de BFR permite também reduzir a carga de combustível presente no solo, diminuindo assim também o risco de incêndio nas zonas florestais e respectiva propagação, que em algumas situações pode incluir zonas urbanas.



#### 4. ÁREA DE ESTUDO

O Distrito de Viseu, localizado na região Norte-Centro de Portugal Continental, faz a ponte entre o litoral e o interior. É constituído por 24 municípios e dividido (Figura 4.1) (ANMP, 2011), segundo a Nomenclatura de Unidades Territoriais (NUT) de nível III, em três sub regiões: Dão-Lafões, Douro e Tâmega, ocupando em todo o seu conjunto uma área de 5.007 km<sup>2</sup> (Governo Civil Viseu, 2010). Os seus limites naturais são marcados por sequências de altos relevos e rios da seguinte forma:

A Norte: curso médio do Rio Douro;

A Sul: Mondego e Serra do Buçaco;

A Poente: Serra do Caramulo;

A Nascente: cerros do Alto Douro e prolongamento da Serra da Estrela.

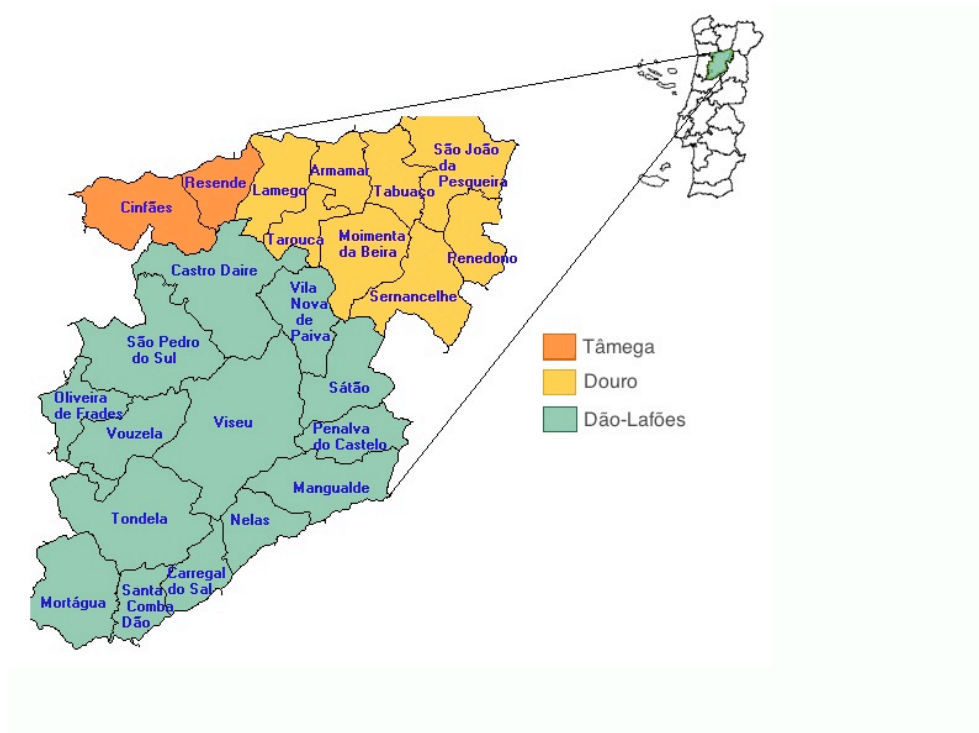


Figura 4.1 - Distrito de Viseu (Associação Nacional de Municípios Portugueses, 2011)

Com base nos dados do Censos 2001, tem uma população residente de cerca de 394 925 pessoas, com uma tendência a decrescer a uma taxa de 1,73%, em que esta diminuição faz-se sentir na maior parte dos concelhos, à excepção do concelho de Viseu que apresenta um aumento em cerca de 11% na sua população residente, sendo o concelho com maior densidade populacional (184,4 hab/km<sup>2</sup>) (INE, 2001).

Os dados do Censos 2001 revelam também que o peso do sector de actividade primário tem vindo a apresentar um considerável decréscimo, significando que cada vez menos pessoas se encontram activas em actividades como agricultura, pecuária, silvicultura entre outras, não só derivado do aumento dos outros sectores (secundário, mas principalmente o terciário) mas também devido ao envelhecimento da população rural, levando à redução da área cultivada e consequente aumento dos incultos e redução de área de florestas com gestão (Almeida, 2005).

O clima do distrito tem influência Norte-Atlântico, por estar mais a Norte e situado em zonas montanhosas, como as serras do Buçaco, Caramulo e da Estrela, caracterizado por um inverno frio e chuvoso e um verão quente e seco, sendo uma das áreas mais sensíveis à ocorrência de incêndios em Portugal Continental no período do verão (IM, 2010). A precipitação apenas decresce de Maio a Setembro, sendo que os restantes meses (nomeadamente Outubro, Novembro e Dezembro) são caracterizados por valores acima da média, relativamente ao resto do Continente. Os valores médios de precipitação de 2005 a 2009 estão representados na Figura 4.1 (SNIRH, 2011) de acordo com as estações meteorológicas de Campia, Leomil, Mangualde, Santa Comba Dão e Touro, por serem as com maior número de valores registados no intervalo de tempo estipulado (2005-2010) mas também pela sua distribuição espacial coincidir com os povoamentos florestais dominantes (pinheiro e eucalipto), tendo deste modo uma maior influência na sua produtividade.

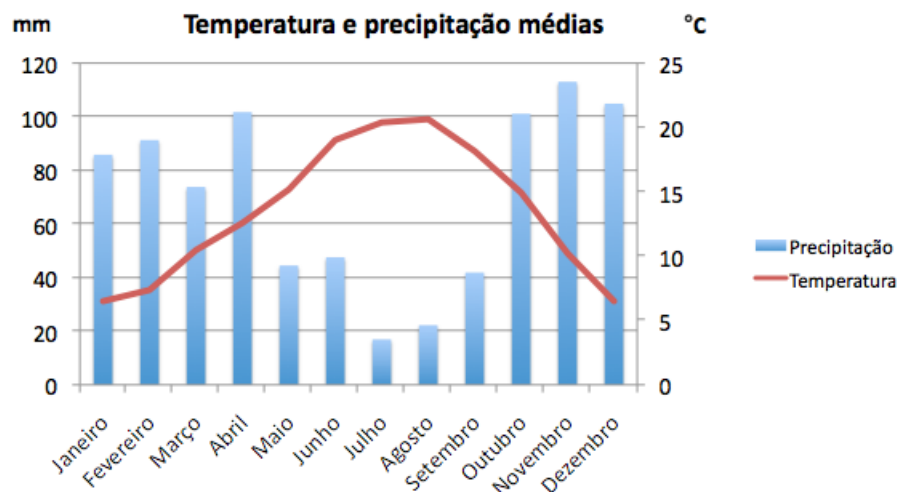


Figura 4.1 - Valores de temperatura e precipitação médias de 2005 a 2009 (SNIRH, 2011)

Os valores da temperatura média mensal foram obtidos através da estação meteorológica de São Pedro do Sul para o igual período de 2005 a 2010, como se pode observar também na Figura 4.1. (SNIRH, 2011). Durante a estação de verão são relativamente baixas (com máximas próximas de 20°C), contudo no inverno estas descem para valores bastante mais reduzidos que o resto do continente, que chega aos 5°C podendo atingir inclusive temperaturas negativas apresentando deste modo uma amplitude térmica média de cerca de 15°C.

A altimetria do Distrito de Viseu é bastante heterogénea encontrando-se zonas desde os 100m (Mortágua) até quase 1 400m (Montemouro), sendo que 19% do território se encontra a uma altitude inferior a 313m, 45% entre os 314 e 618m, 31% entre os 619 e 924m e 6% entre os 924 e 1227m (Figura 4.3) (Atlas do Ambiente Digital, 2011). As principais serras são a de Montemouro (1381 m), Arada (1119 m), Caramulo (1075 m), Leomil (1009 m) e Lapa (955 m).

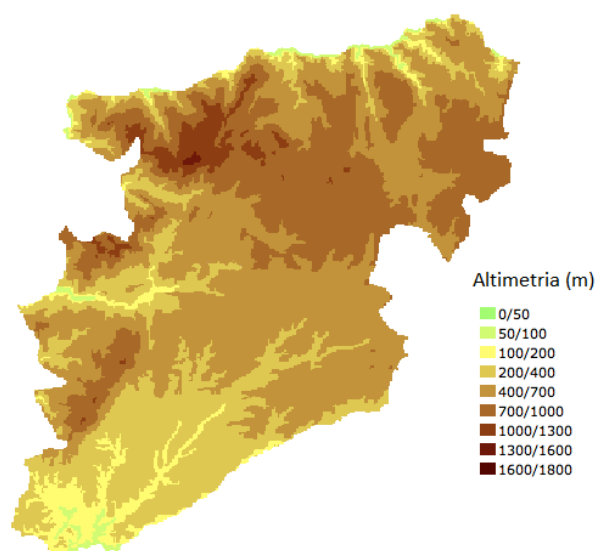


Figura 4.3 - Altimetria Distrito de Viseu (Atlas do Ambiente Digital, 2011)

A nível de tipo de uso de solo, de um modo geral as áreas agrícolas e de matos ocupam, cada uma, um quarto da área total do distrito (AFN, 2010). A actividade agrícola, à semelhança das zonas interiores do país, apresenta um papel bastante importante na economia local, com a produção e comercialização de produtos como frutos (Maçã Bravo de Esmofe e a Maçã da Beira Alta) e o vinho (Vinho do Dão) que devido aos avanços tecnológicos do sector tem vindo a apresentar progressos reflectindo-se na qualidade e, conseqüentemente, no volume de produtos comercializados (Viseu Digital, 2011). A tendência da redução da superfície agrícola utilizada, conjuntamente com a dinâmica populacional dos produtores, pode-se reflectir, em

termos de uso de solo, num aumento de áreas sem gestão que num curto espaço de tempo se podem converter em áreas de incultos.

As duas bacias hidrográficas inseridas do Distrito de Viseu são Mondego e Douro, apresentando três albufeiras principais, Varosa, Vilar-Tabuaço e Aguieira com volumes máximos armazenados de 12,9; 99,2; 411 ( $10^6$ )  $m^3$  respectivamente. O seu uso principal é a produção de energia, explorada pela EDP - Direcção de Produção Hidráulica (SNIRH, 2011). Juntamente com os cursos de água, as albufeiras englobam-se na classe de águas interiores ocupando uma pequena parcela do tipo de uso de solo. Com mais alguma expressão, mas sendo também minoritária é o uso de solo social, que incorpora o tecido urbano e vias de comunicação. O Distrito de Viseu é maioritariamente ocupado pela área florestal, que representa praticamente metade da área total, cerca de 45% (Figura 4.4) (AFN, 2010).

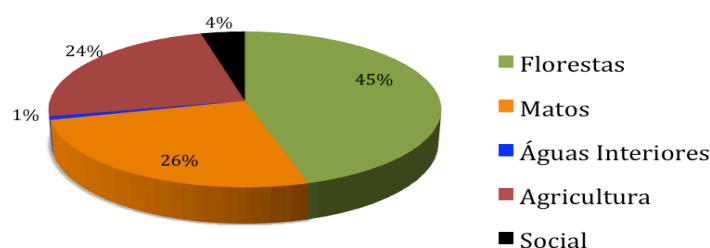


Figura 4.4 -- Usos do solo no Distrito de Viseu (AFN, 2010)

O seu coberto florestal é essencialmente composto por duas espécies dominantes, em que de acordo com o 5º Inventário Florestal Nacional, 59% é de Pinheiro, maioritariamente de pinheiro bravo (118 293 ha) verificando-se também pequenas áreas de pinheiro manso (476 ha) e cerca de 24% Eucalipto (50 000 ha) (Tabela 4.1) (AFN, 2010)

Tabela 4.1 - Área dos povoamentos florestais por espécie dominante no Distrito de Viseu (AFN, 2010)

<b>Espécie</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>
Pinheiro (bravo e manso)	118 769	59,02
Eucalipto	50 000	24,89
Carvalho	20 274	10,07
Castanheiro	2 767	1,37
Azinhaira	718	0,35
Sobreiro	348	0,17
Acácias	125	0,06
Outras folhosas	6 704	3,33
Outras Resinosas	1 430	0,71

A fileira florestal abrange uma vasta gama de actividades que se apresentam com elevada importância para a economia local. Segundo dados do Gabinete de Estratégia e Planeamento do Trabalho e da Solidariedade Social sobre a estrutura do emprego e do trabalho, do número de estabelecimentos (Figura 4.5) (Louro, 2011) salientam-se o sector de mobiliário, exploração florestal, carpintaria para a construção e as indústrias de serrações, sendo que as restantes actividades se apresentam consideravelmente em número inferior (Louro, 2011).

No entanto é importante referir, que a nível de ganho médio mensal, as indústrias que se destacam mais, são as de painéis de partículas e fibras (cerca de 1200€), indústrias de rolhas de cortiça natural (940€) e a indústria de papel de uso doméstico (700€), sendo que as restantes actividades se encontram numa gama de valores de aproximadamente 600€ mensais (Louro, 2011). Estas indústrias apresentam-se distribuídas pelos vários concelhos do distrito sendo que as de maior importância no mercado se destacam em Mortágua, Oliveira do Hospital e, em Arganil as indústrias de celulose e biomassa, no concelho de Mangualde indústria de madeiras, em Castro Daire indústria de construção e no concelho de Viseu indústrias de serrações e comercialização de lenhas e madeiras tratadas (Almeida, 2011).

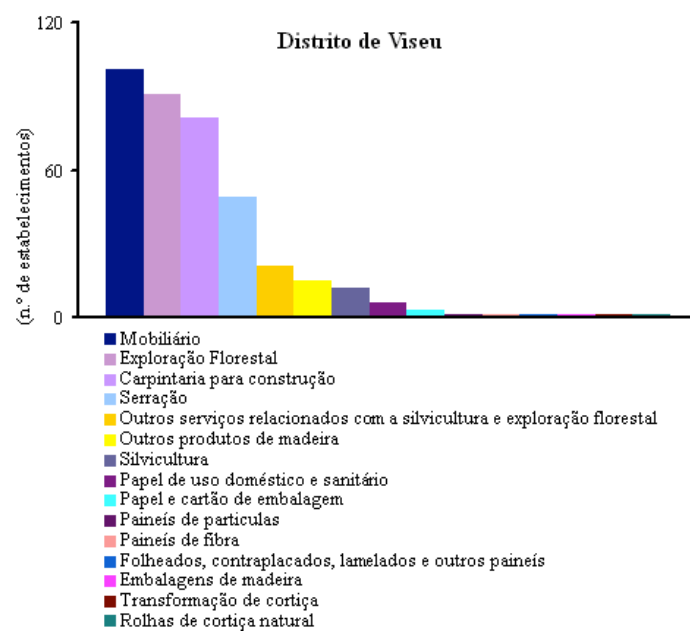


Figura 4.5 - Número de Estabelecimentos da Fileira Florestal no Distrito de Viseu em 2008 (Louro, 2011)



## **5. METODOLOGIA**

Como referido anteriormente este trabalho está dividido em dois objectivos principais: o cálculo da produção de biomassa através da exploração dos povoamentos florestais e a análise geográfica de modo a se estimar a proporção de biomassa de acordo com a sua acessibilidade. Nesta última tem-se em conta dois principais cenários: 1) onde se inclui apenas a central termoeléctrica de Mortágua e 2) onde, para além da central Mortágua, também se incluem outras duas (central de Carregosa e de Vila Real) inseridas no concurso de centrais a biomassa lançado em 2006 pela DGGE e que já se encontram adjudicadas e com licença de construção em zonas específicas. Por fim será feita uma estimativa da contribuição em energia que a BFR pode dar para o Distrito de Viseu.

Para a produção de BFR são apenas considerados os resíduos da exploração dos povoamentos florestais das duas principais espécies inseridas na área de estudo: *Pinus pinaster* e o *Eucalyptus globulus*, denominados daqui em diante de pinheiro bravo e eucalipto respectivamente. Desta actividade resultam os ramos, folhas e bicadas, ou seja, a parte da árvore que não tem valor comercial. No caso dos povoamentos de eucalipto são considerados os cortes finais, e no caso dos povoamentos de pinheiro são considerados os desbastes, cortes finais e as desramações. No presente trabalho não foi tido em conta a remoção dos cepos dos povoamentos após corte final, bem como não foram contabilizados os resíduos resultantes da actividade das indústrias da madeira, nem provenientes da gestão dos espaços municipais.

### **5.1 - Quantificação da produção de BFR**

Para efeitos do cálculo da BFR dos povoamentos florestais na zona em estudo foram usados modelos de produção que permitem estimar a biomassa gerada ao longo de toda exploração do povoamento. Para facilitar a aplicação dos modelos de produção não foi feita distinção entre os povoamentos puros e os povoamentos mistos, assim como foi assumido o facto de o pinheiro bravo ter a mesma produção que o pinheiro manso embora este último tenha muito pouca expressão no Distrito de Viseu. De acordo com as diferentes espécies e com as características da zona em estudo seguem-se os modelos aplicados e suas características.

### 5.1.1 - Quantificação da BFR dos povoamentos de Pinheiro

Para o cálculo da BFR gerada através da exploração de Pinheiro foram definidos dois modelos diferentes de silvicultura, comumente usados para este povoamento na zona de Viseu, de modo a se poder obter um valor médio de BFR. O modelo de silvicultura, é no âmbito deste trabalho definido pela densidade do povoamento no ano em que se inicia a exploração (ano 0), os anos em que são efectuados os desbastes, a intensidade dos mesmos e o ano em que é efectuado o corte final. A densidade inicial do povoamento foi considerada de 1400 árvores por hectare e o tipo de desbaste foi considerado pelo baixo, removendo as árvores doentes, mal conformadas, dominadas e/ou subdominantes. Na definição da intensidade de desbaste assumiu-se que se removia 25% da área basal residual existente no povoamento antes do desbaste. A área basal residual é a diferença entre o valor antes do desbaste e o valor removido em desbaste. Já a classe de qualidade (Iqe) inserida no Pbravo foi *Média*. Entre os dois modelos apenas se fez variar a idade do último desbaste e do corte final, como demonstra a tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Modelos de silvicultura para povoamentos de pinheiro bravo

	Modelo 1 e 2		Modelo 1		Modelo 2		Densidade inicial povoamento	Desbaste	Iqe
<b>Desbastes (D) ou Corte Final (CF)</b>	D1	D2	D3	CF	D3	CF	1400	25%	Média
<b>Idade (anos)</b>	20	30	35	40	40	45			

De modo a se compreender o crescimento do povoamento são aplicados os modelos acima descritos no software Pbravo (Páscoa, 2001) onde nos permite observar a sua evolução detalhadamente ao longo de toda a exploração do povoamento. Através do Pbravo pode-se estimar o número de árvores removidas por classe de DAP, bem como as suas alturas médias. Deste modo obtêm-se as características das árvores que são removidas em cada desbaste, assim como das que permanecem vivas no povoamento. O cálculo do DAP médio das árvores removidas em desbaste é efectuado através de uma ponderação o número de árvores removidas para cada classe de DAP do povoamento. A altura média das árvores removidas em desbaste é calculada em função do DAP médio das árvores removidas em desbaste, por aplicação da seguinte equação (AFNb, 2010):

Altura Média: (5.1)

Onde: 
$$h = \frac{dg}{1,0643 + 0,0222 \times dg}$$

$h$  = altura média das árvores removidas em desbaste (m)

$dg$  = DAP médio das árvores removidas em desbaste (cm)

Para efeitos de cálculo da biomassa das árvores foram aplicadas equações, que estimam a biomassa de *Pinus pinaster* e resinosas várias, por componentes, de acordo com o DAP e a altura total a nível da árvore, apresentando o resultado em kg de massa seca por árvore.

Na presente dissertação assumiu-se que as árvores removidas em desbaste não apresentam valor comercial, como tal poderão ser aproveitadas para energia, de onde a biomassa respectiva do desbaste se obtém, pelo resultado da equação 5.6 que deriva do somatório das outras componentes, onde o  $dg$  corresponde ao DAP médio das árvores removidas em desbaste e  $h$  a altura da árvore média saída em desbaste, multiplicando pelo número de árvores removidas ( $N$ ) obtém-se assim a BFR proveniente do desbaste como demonstra a equação 5.8. Já a biomassa resultante da desramação é obtida através da equação 5.4 onde  $dg$  é o DAP médio do povoamento e  $h$  a altura média do povoamento multiplicada pelo número de árvores do povoamento após o desbaste ( $N$ ). Para cada ano de desbaste obtém-se o valor total de BFR pela soma das equações 5.7 com 5.8.

Tronco: 
$$ws = 0,0146 \times dg^{1,94687} \times h^{1,106677} \quad (5.2)$$

Casca: 
$$ws = 0,0114 \times dg^{1,8728} \times h^{0,6694} \quad (5.3)$$

Ramos: 
$$wbr = 0,00308 \times dg^{1,8728} \times \left(\frac{h}{dg}\right)^{0,6694} \quad (5.4)$$

Agulhas: 
$$wl = 0,09980 \times dg^{1,39252} \times \left(\frac{h}{dg}\right)^{1,39252} \quad (5.5)$$

Total aérea: 
$$wa = ws + wbr + wl \quad (5.6)$$

Biomassa Desramação: 
$$B_{dr} = wbr \times N_{povoamento} \quad (5.7)$$

Biomassa Desbaste: 
$$B_{db} = wa \times N_{removidas} \quad (5.8)$$

Onde:

$h$  = altura média das árvores removidas em desbaste (m)

$dg$  = DAP médio das árvores removidas em desbaste (cm)

$N_{\text{povoamento}}$  = número de árvores vivas no povoamento por hectare

$N_{\text{removidas}}$  = número de árvores removidas em desbaste por hectare

No corte final considera-se que todas as árvores são removidas, contudo apenas a parte sem valor comercial é contabilizada para fins energéticos, como os ramos e bicada. Para o cálculo dessas componentes utiliza-se um factor de expansão de biomassa (BEF) que é função da biomassa total do povoamento ( $B_t$ ) e do o volume total do povoamento ( $V_t$ ) como demonstra a equação 5.9. Ao se multiplicar o BEF pelo volume total, de rolaria, de madeira e de lenha, obtemos as respectivas biomassas, de onde a biomassa do lenho corresponde à bicada (Pascoa, 2001). O somatório da biomassa da bicada com a totalidade da biomassa dos ramos obtida pela equação 5.4 representa assim a BFR do corte final.

$$\text{Factor de Expansão de Biomassa: } BEF = \frac{B_t}{V_t} \quad (5.9)$$

$$\text{Biomassa Bicada: } B_{bic} = BEF \times V_{lenha} \quad (5.10)$$

$$\text{Biomassa Corte Final: } B_{CF} = B_{bic} + B_{dr} \quad (5.11)$$

Onde:

$B_t$  = biomassa total das árvores vivas do povoamento (ton ms/ha)

$V_t$  = volume Total das árvores do povoamento ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )

$V_{lenha}$  = volume correspondente à bicada da árvore ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )

$B_{dr}$  = biomassa proveniente da desramação do povoamento (ton ms/ha)

Por fim a BFR dos povoamentos de pinheiro é obtida através do somatório das biomassas dos desbastes e desramação de cada ano de desbaste, juntamente com a BFR do corte final e respectiva desramação total, tudo dividido pelo número de anos de exploração obtendo-se um valor anual de toneladas de matéria seca por hectare.

#### 5.1.2 - Quantificação da BFR dos povoamentos de Eucalipto

Para a produção de BFR dos povoamentos de Eucalipto é também definido um modelo de exploração, mas neste caso sem desbastes, onde apenas é contabilizada a biomassa proveniente do corte final do povoamento. Para a zona do Distrito de Viseu foi assumida uma densidade de 1400 árvores por hectare, e um índice de qualidade de estação (Iqe) de 20

metros. O modelo de exploração é de 12 anos, sendo que o primeiro ciclo denomina-se de alto fuste ou 1ª rotação, seguido de três outras rotações, com exploração em talhadia, como demonstra a tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Modelos de silvicultura para povoamentos de eucalipto

N inicial povoamento (árvores/ha)	Iqe (m)	Idade de corte (anos)			
		12	24	36	48
1400	20	1ª rotação	2ª rotação	3ª rotação	4ª rotação

De seguida os dados do povoamento são introduzidos no modelo Globulus 2.1 (Tomé et al., 2001), que permite estimar várias características do povoamento para cada ano, incluindo a biomassa do povoamento por componente (ramos, folhas, casca, lenho).

Para a quantificação da BFR apenas são consideradas as biomassas da bicada, ramos ( $W_r$ ) e também as folhas ( $W_f$ ), embora esta última possa vir a trazer problemas mais tarde na qualidade da biomassa. Na prática torna-se difícil separá-las no terreno durante o processo de recolha após o corte final. A biomassa da bicada foi obtida através da multiplicação de um factor de conversão ( $\beta$ ) obtido pela equação 5.12, a partir do qual ao se multiplicar pelo valor de biomassa do lenho ( $W_l$ ) obtém-se o valor de biomassa da bicada. Não se considerou a casca nem o aproveitamento dos rebentos da selecção de touça.

$$\text{Factor de Conversão do Lenho para a Bicada: } \beta = \frac{V_t - V_i}{V_t} \quad (5.12)$$

$$\text{BFR de Eucalipto: } BFR_{euc} = W_r + W_f + (W_l \times \beta) \quad (5.13)$$

Onde:

$V_t$  = volume total do povoamento ( $m^3/ha$ )

$V_i$  = volume da fracção com valor comercial do povoamento ( $m^3/ha$ )

$W_r$  = biomassa dos ramos do povoamento (ton ms/ha)

$W_f$  = biomassa das folhas do povoamento (ton ms/ha)

$W_l$  = biomassa do lenho do povoamento (ton ms/ha)

Uma vez que os resultados das equações do Globulus 2.1 já vêm em ton ms/ha, o valor da biomassa obtida anualmente por hectare corresponde ao somatório da BFR da 1ª rotação e das três talhadias (obtidas pela equação 5.13), dividido pelo número de anos totais de

exploração. No presente estudo não foi considerada a selecção das varas em talhadia, efectuada normalmente aos 3 anos de idade, já que o modelo Globulus 2.1 só considera as talhadias após 3 anos, ou seja, depois da selecção das varas.

## 5.2 - Análise Geográfica de Acessibilidade

A BFR calculada anteriormente refere-se à produção da totalidade dos povoamentos. Contudo há certos factores determinantes à sua disponibilidade. Na presente dissertação foram apenas considerados factores geográficos, nomeadamente a distância dos povoamentos florestais aos centros de consumo e os declives da zona onde estão inseridos. A análise foi efectuada com recurso a um sistema de informação geográfica (SIG): ArcGIS.10 (ESRI, Portugal) onde se construiu um modelo de modo a analisar os principais povoamentos florestais do distrito de Viseu de acordo com a sua acessibilidade, para fins de exploração. Todos os mapas gerados e respectivas operações foram efectuadas na ferramenta *Model Builder* (representado no Anexo IX) de modo a se facilitar qualquer alteração necessária bem como a visualização da totalidade das operações. Para facilitar a visualização do modelo e demonstrar as metodologias nele utilizadas, neste capítulo serão omitidas algumas operações e mapas criados nas figuras do modelo, descontinuidade essa representada como um tracejado no percurso das linhas do modelo.

### 5.2.1 - Acessibilidades no terreno

As principais condicionantes consideradas para a exploração da BFR foram apenas os declives e as distâncias, pelo facto de a área de estudo não apresentar zonas protegidas, caso contrario, estas teriam de ser também contabilizadas como zonas cuja exploração da biomassa seria inviável.

No cálculo dos declives foi usada um Modelo Digital do Terreno de resolução 90 metros, o SRTM (Jarvis, *et al*, 2006), sendo esta a resolução de todas as cartas em formato raster geradas posteriormente. Os declives foram reclassificados de acordo com três classes: 1) < 15%; 2) 15 - 30% e 3) >30% (CBE, 2004).

O calculo das três classes de declive foi efectuada segundo a figura 5.1. A primeira classe representa declives bastante favoráveis à exploração dos povoamentos, a segundo já apresenta algumas condicionantes, sendo que a terceira prejudica bastante as operações a efectuar no terreno podendo mesmo inviabiliza-las. No presente estudo a terceira classe foi

considerada como impeditiva para a exploração de biomassa. Tendo sido criada uma outra carta de restrições relativas apenas aos declives de classe 3 cujo valor atribuído é zero.

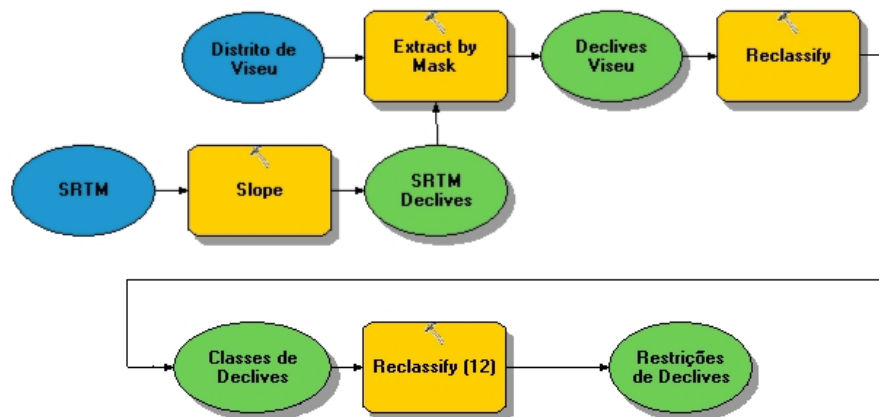


Figura 5.1 - Modelo para Cálculo dos Declives

Para os centros de consumo de biomassa, na presente dissertação, foram consideradas apenas as centrais termoelétricas dedicadas de biomassa nas imediações do Distrito de Viseu. A partir daqui são criados dois grandes cenários, um onde apenas se considera a central termoelétrica de Mortágua (9 MW) já em funcionamento (Cenário1), e um outro cenário onde se considerou, para além da central de Mortágua outras duas adjudicadas e aprovadas provenientes do concurso de centrais dedicadas de biomassa: Carregosa e Vila Real, de 10MW e 11MW de potência respectivamente (Cenário 2). Uma vez georreferenciadas as centrais procede-se ao cálculo das distâncias, pelas estradas, a cada uma delas de acordo com três classes: 1) <20 Km; 2) 20 - 50 Km, 3) 50 - 90 Km e 4) >90 Km de acordo com a variação dos custos associados à exploração de BFR ao longo da distância (CBE, 2004). Mais uma vez a última classe foi considerada como inviável à exploração de biomassa, ou seja, todo o povoamento que se encontre a uma distância superior a 90 Km das centrais em estudo não é contabilizado, resultado novamente da criação de uma carta de restrições relativamente a essa classe de distância. Para o cálculo destas distâncias foi necessário criar uma rede de dados (*Network Database*) com a carta relativa aos eixos de via da área de estudo (NAVTEQ, 2011), para que as classes de distância a partir das centrais correspondessem às distâncias percorridas pelas estradas. Com recurso à ferramenta *Service Area* do *Network Analyst* são calculadas as três classes de distância para cada cenário, como demonstra a figura 5.2.

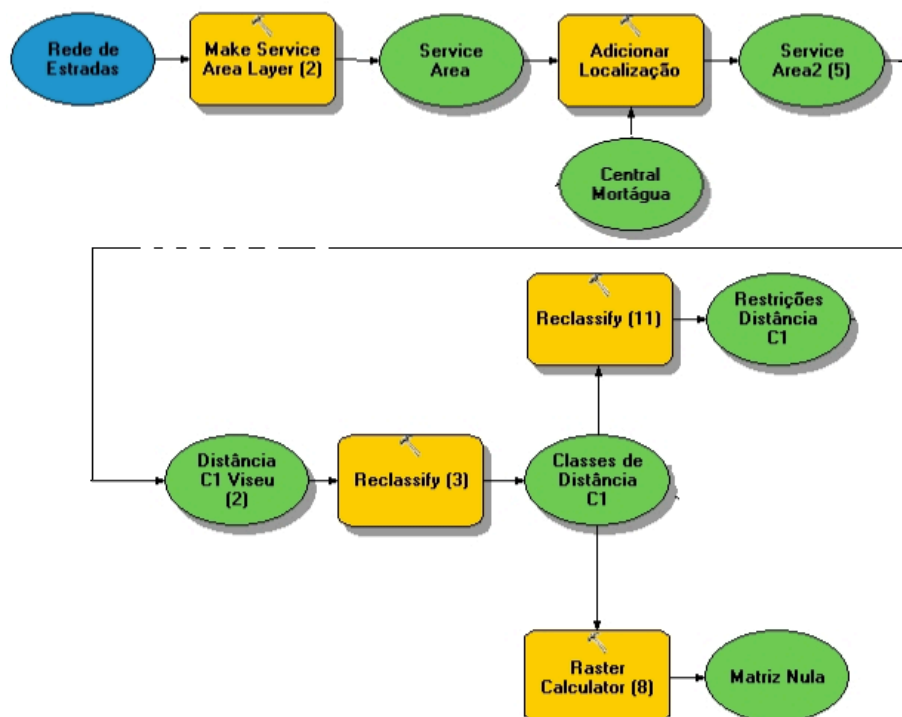


Figura 5.2 - Modelo Simplificado para cálculo das Distâncias Cenário 1

A partir do mapa *Classes de Distância C1*, foi calculado um outro mapa com valores todos nulos, que servirá de referência para todos os outros criados posteriormente (em formato *raster*) relativamente à resolução de pixels e ao número de linhas e colunas. Esse mapa denomina-se de *Matriz Nula* que serve também de fundo para facilitar a visualização de futuros mapas, nomeadamente dos povoamentos.

Para o cenário 2, são juntas as três centrais, através do comando *Append* de onde derivam as distâncias relativamente a cada uma delas, pelos eixos de via seguindo o mesmo procedimento usado no cenário 1. Contudo para este cenário, como todo o distrito fica abrangido pelas três primeiras classes de distância, não foi necessário criar uma restrição relativa à 4ª classe (distância superior a 90 Km).





Em baixo estão representados os modelos simplificados para o cálculo das classes de acessibilidade para o cenário 1 (C1) e o cenário 2 (C2).

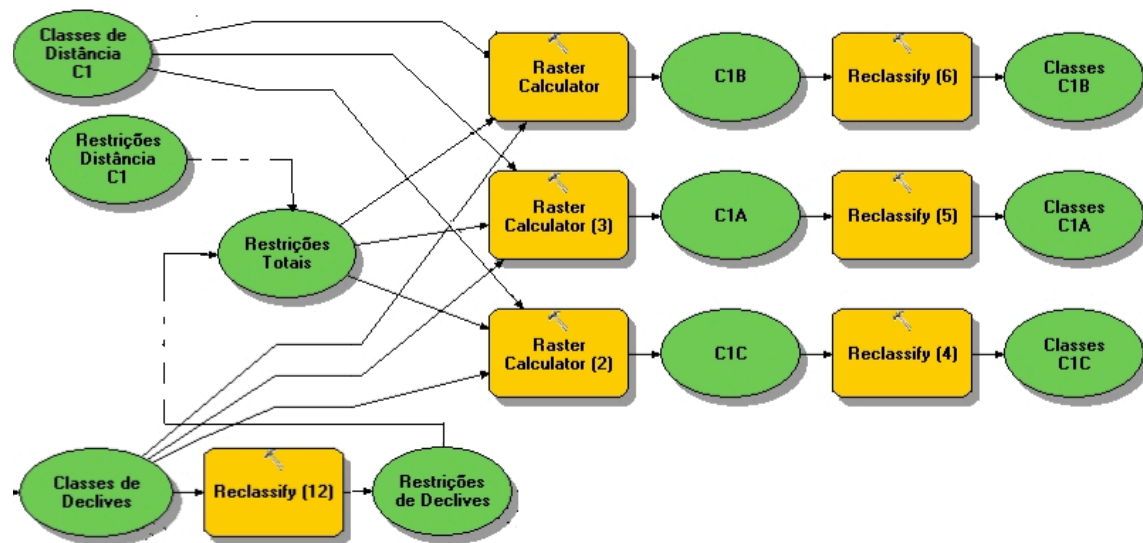


Figura 5.4 - Modelo simplificado para o cálculo das classes de acessibilidade para o Cenário 1

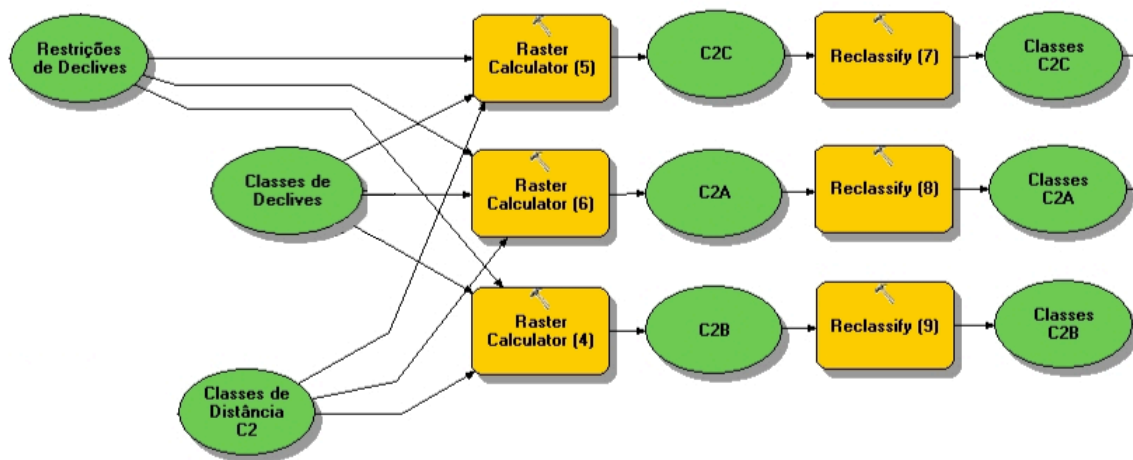


Figura 5.5 - Modelo simplificado para o cálculo das classes de acessibilidade para o Cenário 2

### 5.2.2 - Distribuição dos Povoamentos Florestais

Como foi referido anteriormente os povoamentos florestais considerados na presente dissertação são apenas os de pinheiro e eucalipto. A carta de ocupação florestal que melhor poderá indicar a sua distribuição geográfica seria a Carta de Ocupação de Solo (COS), no entanto a versão disponível mais recente remota 1990, a COS90 (IGeo, 2011). À semelhança de grande parte do uso de solo, os povoamentos florestais sofreram alterações desde essa data, incluindo os fortes incêndios de 2003 e 2005, como tal o uso da COS90 poderia comprometer

os resultados, comprovado com a comparação das áreas dos povoamentos da COS90 com o recente inventário florestal nacional de 2005. Assim sendo, foi utilizada uma outra carta de ocupação de solo: a Corine Land Cover 2006 (CLC06) (Caetano *et al*, 2009). Esta carta no entanto não discrimina os povoamentos de pinheiro e eucalipto, como a COS o faz, distinguindo-os por classes de resinosas, folhosas e mistas. Embora os dois principais povoamentos florestais: o eucalipto se enquadre na classe de folhosas e o pinheiro nas resinosas (Caetano, *et al*, 2005), foi necessário estabelecer uma relação entre a COS90 (IGeo, 1990) e a CLC90 (EEA, 1990) de modo a se estimar o erro associado à simplificação da CLC06. Para tal foi usada a ferramenta *Combine* onde estabelece uma relação entre cada pixel das duas cartas. Para simplificação assumiu-se que os povoamentos de Pinheiro da COS90 (bravo e manso) correspondem aos povoamentos de resinosas da CLC90 e os povoamentos de Eucalipto da COS90 correspondem aos de folhosas e mistos da CLC90, de onde vem uma matriz de comparação entre as classes (Tabela 5.4) relativamente ao número de pixéis contidos no cruzamento das duas.

Tabela 5.4 - Matriz de comparação entre a CLC90 e a COS90 (número de pixéis)

CLC90 COS90	Folhosas + Mistas	Resinosas
Eucalipto	23717	3692
Pinheiro	36659	78346

Para o cálculo do grau de exactidão (Ge) desta simplificação aplicou-se a seguinte fórmula:

$$Ge = \left( \frac{23717 + 78346}{\sum_{total}} \right) \quad (5.14)$$

Assim sendo, os povoamentos florestais da carta CLC06 foi reclassificada, em classes de eucalipto e pinheiro.

De seguida para melhor compreender a sua dispersão geográfica foi calculada ainda uma carta de densidade para cada povoamento florestal, através da função *Focus Statistics*. Esta função permite, para cada pixel, calcular uma estatística (neste caso a média) num determinado raio. Como o objectivo principal é de explorar os povoamentos, optou-se por um raio de 12,5 Km, que corresponde sensivelmente à distância máxima que um tractor com reboque pode percorrer (Saião, 2009), obtendo-se uma percentagem de povoamentos florestais que se podem explorar sem recurso ao transporte de camião.

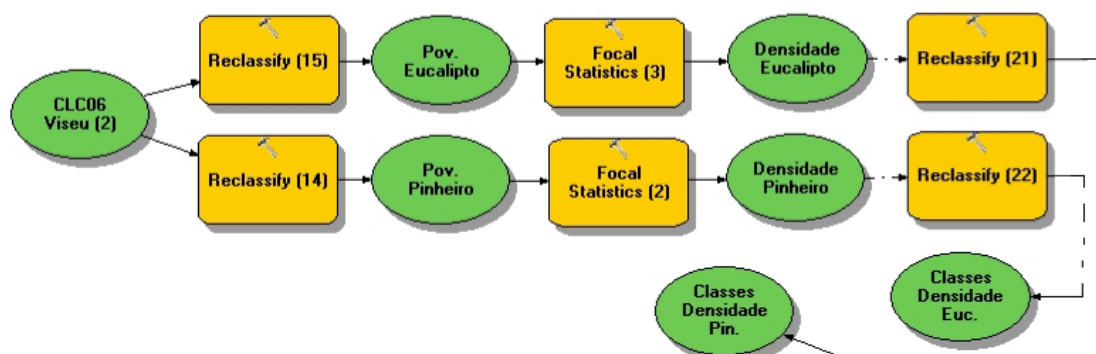


Figura 5.6 - Modelo simplificado para o cálculo das classes de densidade dos povoamentos

#### 5.2.4 - Acessibilidade aos povoamentos

Para compreender a localização dos povoamentos nas diferentes classes de acessibilidade, foi usado novamente o a ferramenta *Combine* entre a carta dos povoamentos florestais e as cartas de acessibilidade de cada cenário. Assim sendo obteve-se as cartas onde cada povoamento (de pinheiro ou eucalipto) estão classificados de acordo com a sua acessibilidade para cada cenário.

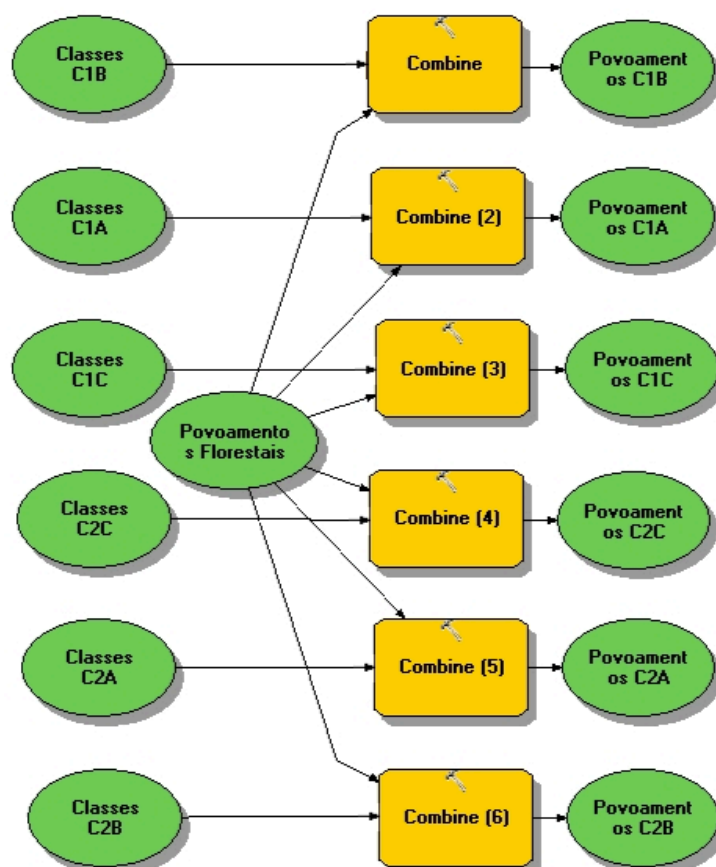


Figura 5.7 - Modelo para o cálculo das classes de acessibilidade aos povoamentos

Por fim para as duas melhores classes de acessibilidade dos povoamentos de eucalipto e pinheiro nos cenários mais conservadores (C1A e C2A) e nos mais optimistas (C1B e C2B), foram combinadas com as classes de densidade, de modo a se perceber de que maneira os povoamentos classificados como mais acessíveis estarão em zonas de elevada densidade ou estão isolados. Em baixo, a figura 5.8 ilustra o modelo aplicado no cálculo da distribuição dos melhores povoamentos nas classes de densidade, para ambas as ópticas (optimista e conservadora).

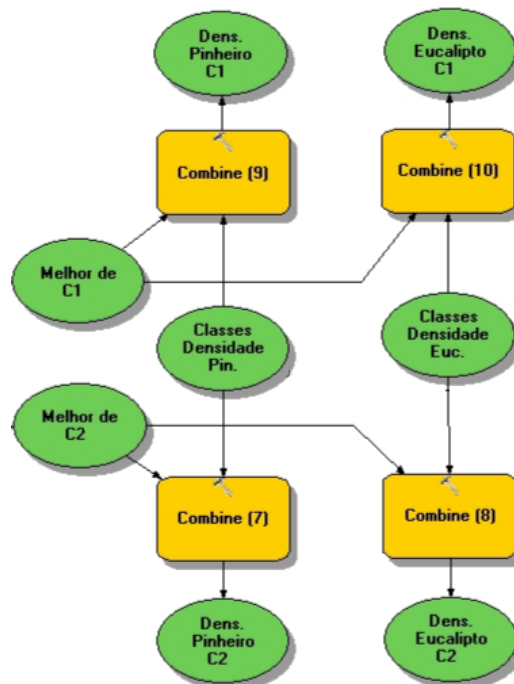


Figura 5.8 - Modelo para o cálculo das classes de densidade nos melhores acessos aos povoamentos

### 5.3 - Contribuição para a produção de Energia no Distrito de Viseu

Os valores anuais de produção de BFR para os povoamentos de pinheiro e de eucalipto obtidos em 5.1 são apresentados em massa seca por hectare. Assim, sabendo as áreas de cada classe de acessibilidade dos diferentes cenários, é possível estimar para cada um a BFR de pinheiro e de eucalipto produzida anualmente por classes de acessibilidade.

Para o cálculo da energia potencialmente produzida ( $E_p$ ) a partir da BFR de pinheiro e eucalipto foram aplicadas as equações 5.12 e 5.13 respectivamente, assumindo-se que as centrais em concurso de Carregosa e de Vila Real terão as mesmas características da central de Mortágua nomeadamente relativas ao mesmo rendimento a nível de produção de energia ( $\eta$ ) de 26,5% e ao factor de utilização ( $f$ ), que corresponde a um total de 7800 horas por ano, ou seja, 90% de utilização anual. O resultado é a apresentado em GJ/ano.

Energia Produzida para BFR de Pinheiro:  $Ep_{pin} = PCI_{pin} \times BFR_{pin} \times f \times \eta$  (5.12)

Energia Produzida para BFR de Eucalipto:  $Ep_{euc} = PCI_{euc} \times BFR_{euc} \times f \times \eta$  (5.13)

A biomassa de eucalipto e de pinheiro apresentam valores de PCI distintos, como se pode observar na tabela 5.5. As equações usadas para estimar a produção de BFR no ponto 5.1 apresentam o resultado em massa seca, no entanto há sempre alguma humidade associada. De acordo com a bibliografia, assume-se um teor de humidade da biomassa de 10% sendo este o valor mínimo de humidade para a biomassa florestal e o valor máximo admitido para os principais produtos de BFR com fins energéticos: as *pellets* e os *briquetes*.

Tabela 5.5 - Valores de PCI de BFR em função da percentagem de humidade (Netto, 2008)

%	PCI (GJ/t)	
	Pinheiro	Eucalipto
70	3,39	3,07
65	4,37	3,99
60	5,34	4,92
55	6,32	5,84
50	7,29	6,76
45	8,26	7,68
40	9,24	8,60
35	10,21	9,52
30	11,18	10,44
25	12,16	11,36
20	13,13	12,28
15	14,10	13,20
10	15,08	14,12
5	16,05	15,04
0	17,02	15,96

Através do resultado da estimativa da produção de energia para cada povoamento foi comparado com o consumo total de energia na área em estudo, de modo a quantificar, em percentagem, a contribuição da produção de energia através da biomassa, relativamente às necessidades energéticas do Distrito. Esses dados foram obtidos pela DGGE, referentes ao ano de 2009.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 - Quantificação da Produção de BFR

#### 6.1.1 - Produção de BFR nos povoamentos de pinheiro

Com base nas características definidas nos modelos de silvicultura para os povoamentos de pinheiro, estimou-se os DAP médios e as alturas médias para cada ano de exploração, através do software do Pbravo, como demonstra a tabela 6.1. No Modelo 2 (M2) verifica-se um maior crescimento do povoamento, ao se efectuar o terceiro desbaste aos 40 anos e respectivo corte final aos 45, relativamente ao modelo 1 (M1), onde se efectuou o terceiro desbaste ao fim de 35 anos e o respectivo corte final aos 40 anos. Em ambos os modelos a biomassa resultante das árvores removidas em desbaste é a que mais contribui para a BFR de cada desbaste, enquanto no corte final é a desramação que mais contribui para a BFR, já que a biomassa removida das árvores do povoamento apenas inclui a componente sem valor comercial (bicada) e não a totalidade da árvore como nos desbastes. No entanto as diferenças no crescimento do povoamento entre os dois modelos, resulta uma maior produção de BFR para M2 de cerca de 1,99 ton ms/ha.ano, do que para M1 que apresenta valores médios de 1,80 ton ms/ha.ano. O resultado da produção média de BFR para os povoamentos de pinheiro na zona em estudo é de 1,90 ton ms/ha.ano.

Tabela 6.1 - Modelo de Exploração do Povoamento de Pinheiro e Produção de BFR

Idade (anos) Parâmetros	Modelo 1 e 2		Modelo 1		Modelo 2		BFR (ton ms/ha.ano)	
	D1	D2	D3	CF	D3	CF	M1	M2
	20	30	35	40	40	45		
Árvores Removidas (N)	336	327	225	484	227	484	1,80	1,99
dg (cm)	11,84	15,21	17,9	23,58	19,6	24,80		
Altura média (m)	8,92	10,85	12,28	14,85	13,1	15,35	BFR média (ton ms/ha.ano)	
BFR da desramação (ton ms/ha)	1,24	2,30	2,50	10,9	2,43	12,61		
BFR de Desbaste (ton ms/ha)	11,80	20,3	21,66	1,54	27,64	1,45	1,90	
BFR total (ton ms/ha)	13,05	22,64	24,174	12,45	30,08	14,07		

### 6.1.2 - Produção de BFR nos povoamentos de eucalipto

A exploração dos povoamentos de eucalipto é mais simples, comparando com a dos povoamentos de pinheiro, sendo que apenas são consideradas as componentes sem valor comercial da árvore, resultantes dos cortes finais. O factor de conversão do lenho para bicada ( $\beta$ ) obtido pela equação 5.9 foi de 2,3% o que indica que, de todo o lenho da árvore, apenas 2,3% não apresenta valor comercial e pode ser valorizado energeticamente.

Assim, a tabela 6.2 apresenta os valores de biomassa, em ton ms/ha, para cada rotação e ao fim dos 48 anos de exploração em ton ms/ha.ano. Os valores foram obtidos com a equação 5.10, cujos parâmetros são estimados pelo modelo Globulus 2.1, de acordo com as definições do modelo. A primeira rotação é a que apresenta uma maior produção de BFR, 17,16 ton ms/ha, enquanto as talhadias (2ª, 3ª e 4ª rotações), apresentam um valor mais reduzido de 16,47 ton ms/ha. A BFR média produzida, no fim da exploração para o modelo escolhido, de eucalipto é de 1,38 ton ms/ha.ano.

Tabela 6.2 - Produção de BFR nos povoamentos de eucalipto

	Rotações (12 anos)				BFR (ton ms/ha.ano)
	1ª rot.	2ª rot.	3ª rot.	4ª rot.	
BFR (ton ms/ ha)	17,16	16,47	16,47	16,47	<b>1,38</b>

De um modo geral a produção de BFR dos povoamentos de pinheiro e de eucalipto é respectivamente de 1,90 e 1,38 ton ms/ha.ano. A maior produção nos povoamentos de pinheiro deve-se ao seu sistema de exploração gerar mais resíduos, nomeadamente nos desbastes onde são removidas árvores que se considerou serem aproveitadas no seu todo bem como as desramações do corte final apresentarem quantidades consideráveis de biomassa sem valor comercial.



## 6.2 - Análise Geográfica de Acessibilidade

### 6.2.1 - Acessibilidades no Terreno

As acessibilidades no âmbito deste estudo prendem-se com os factores que mais influenciam a exploração da BFR quer a nível da logística das operações necessárias às práticas silvícolas como o declive do terreno, e a nível de viabilidade económica para a exploração da biomassa considerando apenas como factor principal a distância dos povoamentos a centros de consumo.

A partir do modelo digital do terreno foram calculadas três classes de declives e respectivas áreas, como descrito no ponto 5.2.1. Estas três classes representam as principais diferenças nas operações de exploração da biomassa e estão representadas na figura 6.1.

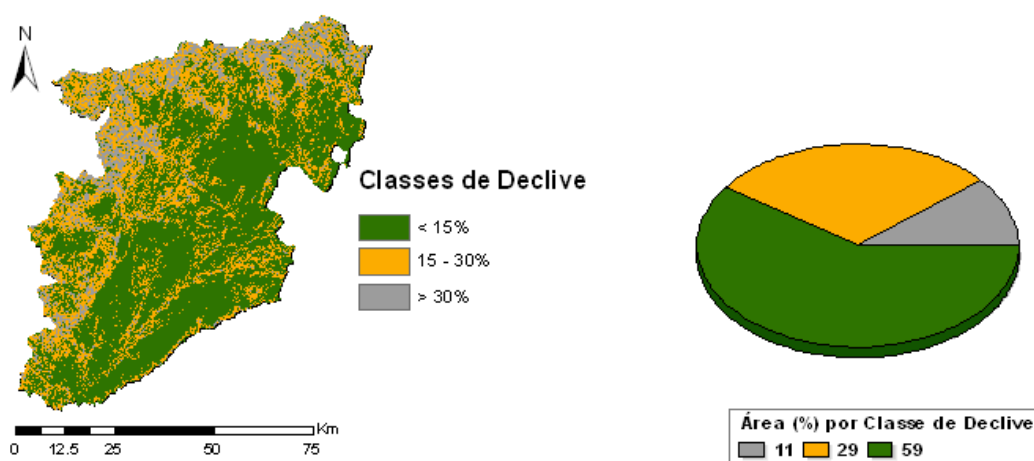


Figura 6.1 - Classes de Declive

Embora o Distrito de Viseu se encontre numa zona montanhosa a sua área é maioritariamente composta por declives de boa acessibilidade (inferiores a 15%), representando cerca de 59% da área total correspondendo a 296 741 ha. Já a classe de declive entre 15 e 30% representa 29% do território (147 405 ha) e apresenta algumas condicionantes aos trabalhos no terreno. A última classe considerada, por apresentar elevadas restrições a nível da logística associada à exploração da biomassa, foi classificada como inviável e representa uma pequena porção do distrito de cerca de 11% (56 537 ha) e corresponde às zonas montanhosas do Distrito, nomeadamente a Serra do Caramulo.

As classes de distância apresentadas para ambos os cenários, representam diferenças de custos associados, nomeadamente de transporte, como tal foram calculadas as distâncias dos possíveis centros de consumo pelas estradas, neste caso as centrais termoeléctricas a biomassa. Como foi dito anteriormente, daqui surgem dois grandes cenários, onde no primeiro apenas é considerada a central de Mortágua como demonstra a figura 6.2.

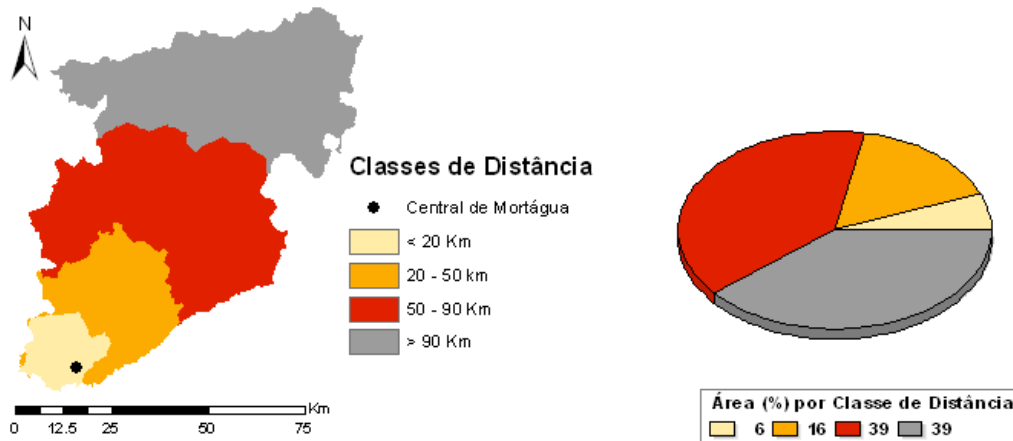


Figura 6.2 - Classes de Distância para Cenário 1

No cenário 1 verifica-se uma grande porção do território classificada com inviável à exploração da biomassa de cerca de 39% (193 379 ha), por estar a mais de 90 km de distância à central. Com igual percentagem, mas maior área, encontra-se a classe de 50 a 90 km de distância cobrindo cerca de 196 789 ha. Por fim as duas melhores classes apresentam áreas mais reduzidas cobrindo 16% (80 196 ha) para distâncias entre 20 e 50 km e 6% (30 320 ha) para distâncias menores que 20 km.

No cenário 2 são consideradas as centrais propostas a concurso de Carregosa e Vila Real, para além da já existente de Mortágua. Embora as duas primeiras não se encontrem localizadas no Área de estudo, o raio de acção a elas associado influencia a sua acessibilidade como se pode comprovar na figura 6.3.

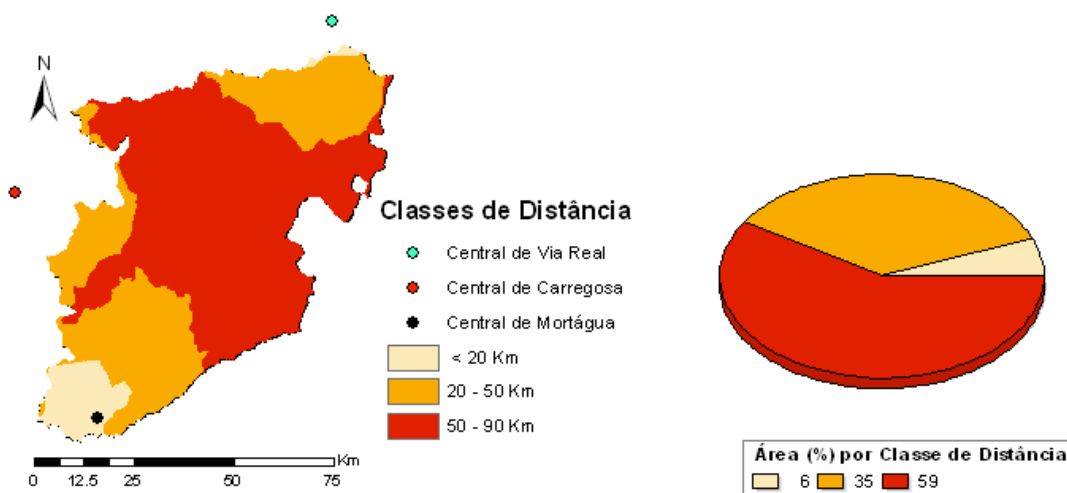


Figura 6.3 - Classes de Distância para Cenário 2

A primeira grande diferença do cenário 2 para o cenário 1 que a figura ilustra é a ausência da classe de distâncias superiores a 90 km, impeditiva à exploração da biomassa, que representava uma considerável porção área em estudo. A área ocupada por essa classe é agora predominantemente constituída pela classe de distâncias entre 50 a 90 Km, representando agora 59% (293 215 ha), uma diferença de 99 836 ha relativamente a C1. Também a classe de distâncias entre os 20 e 50 Km, que representam 35% (174 954 ha) apresentam uma diferença considerável de 94 758 ha. Já a classe de melhor acessibilidade a nível de distância, apresenta sensivelmente o mesmo valor entre os dois cenários, 6% da área total correspondendo a 32 453 ha diferindo em apenas 2 133 ha.

Em ambos os cenários as zonas montanhosas fazem com que as classes de distância tenham uma tendência para progredirem pelo centro do distrito, resultado da semelhante progressão dos eixos de via.

Uma vez obtidos os mapas dos dois principais factores que condicionam a exploração da biomassa (a distância e o declive) estes são cruzados atribuindo-se diferentes pesos para cada um deles, de onde vêm mais três cenários para cada um dos outros dois já existentes. Para cada cenário são estipuladas três classes de acessibilidade, muito boa, razoável e condicionada, mais uma classe relativa às restrições.

Para o cenário 1 com a distribuição dos pesos entre o declive e as distâncias de 30% e 70% respectivamente denomina-se de C1A e está ilustrado na figura 6.4.

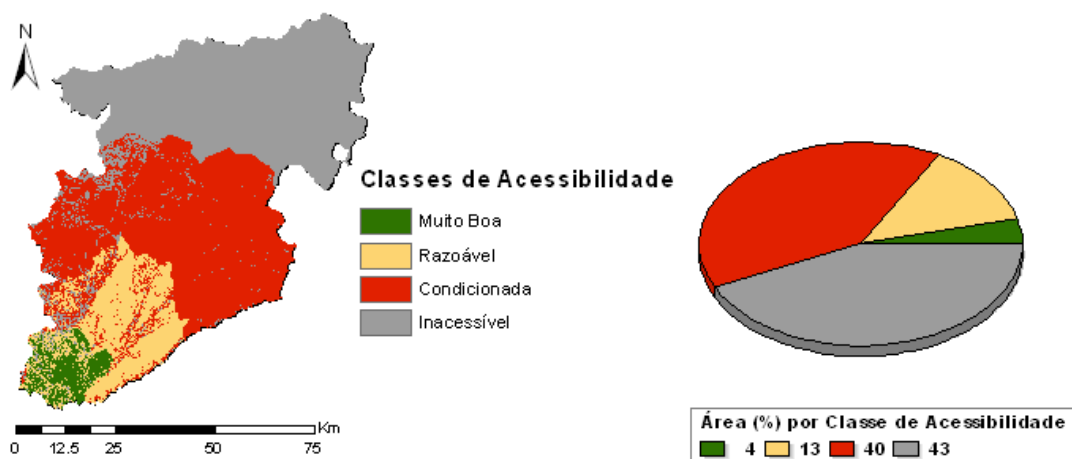


Figura 6.4 - Classes de Acessibilidade para C1A

Neste cenário as classes de distância apresentam um maior peso em relação às classes de declive, facilmente comprovado pelo facto da distribuição das classes de acessibilidade se assemelhar à carta referente às classes de distância da figura 6.2. A classe assumida como inacessível é maior relativamente às cartas de onde esta derivou, isto deve-se ao facto de para a área de distância acessível foram adicionados os declives que inviabilizam a exploração de biomassa. Assim sendo temos que a classe de acessibilidade nula representa cerca de 43% (214 537 ha) da área em estudo. Já a classe de acessibilidade condicionada ocupa cerca de 40% do distrito (200 247 ha), a razoável de 13% (66882 ha) e a melhor classe deste cenário apenas 4% (18781 ha).

O cenário C1B refere-se ao cruzamento dos declives e das distâncias atribuindo igual peso a ambos (50%) e está representado na figura 6.5.

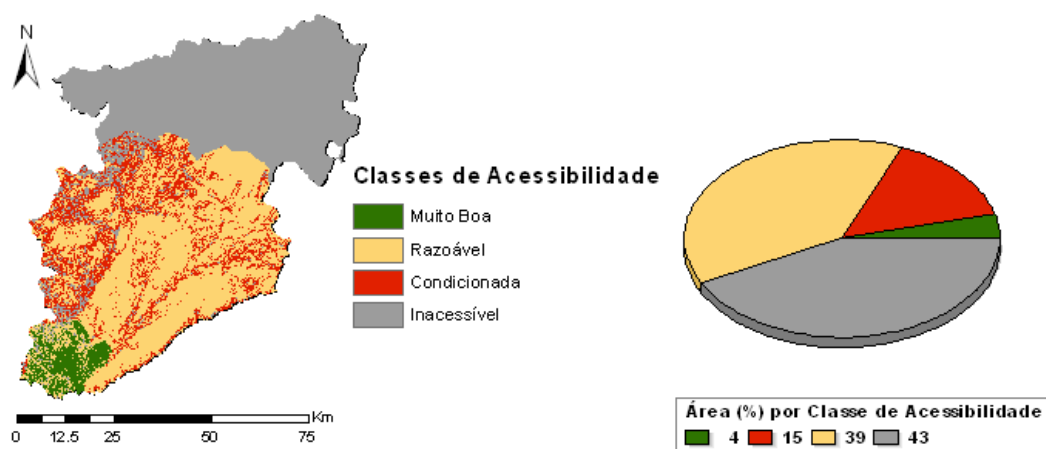


Figura 6.5 - Classes de Acessibilidade para C1B

Relativamente a C1A, este cenário apresenta um valor igual de área inacessível, sendo esta originária de uma carta de restrições, não se espera que varie com a variação do peso atribuído aos factores de acessibilidade. A maior diferença está sim na redução considerável da área atribuída à classe de acessibilidade condicionada que ocupa agora apenas 15% (73414 ha) da área total. Já com acessibilidade razoável temos 39% (193714 ha) da área total, sendo esta a classe predominante. A área ocupada pela melhor classe de acessibilidade apresenta o mesmo valor de C1A, representando 4% da área de estudo (18 781ha), o que se deve ao facto de os intervalos de valores escolhidos para a reclassificação das cartas, provenientes do cruzamento entre as distâncias e os declives, apenas apresentarem variações mais acentuadas nos valores mais elevados, que por sua vez correspondem às classes de pior acessibilidade. Assim a classe de melhor acessibilidade não apresenta grandes alterações entre os cenários após a reclassificação.

Resultado da atribuição de maior peso ao declive (70%) e menor às distâncias (30%), cenário C1C, obtém-se a carta representada na figura 6.6.

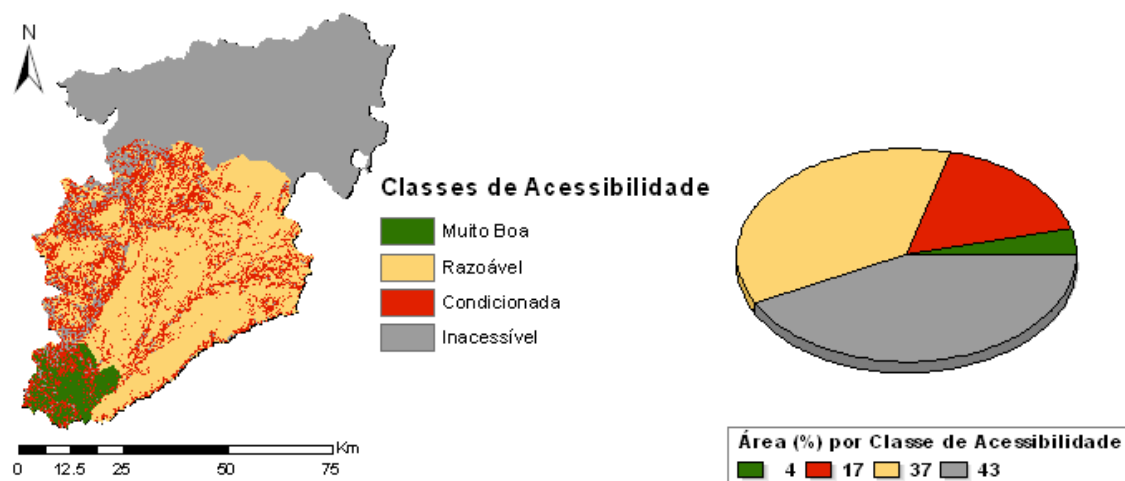


Figura 6.6 - Classes de Acessibilidade C1C

Este cenário apresenta as mesmas áreas para as classes de acessibilidade inviável e muito boa, relativamente ao cenário C1B, de 4% (18 781 ha) e 43% (214 537 ha) respectivamente. As únicas alterações verificadas estão relacionadas com as classes de acessibilidade razoável e condicionada, cuja ocupação é de 37% (183 868 ha) e 17% (83 261 ha) respectivamente. O aumento da área da classe de acessibilidade condicionada deve-se ao facto de se ter atribuído um maior peso ao declive, e como tal as zonas de melhor distância que continham declives de pior acesso são classificadas como menos acessíveis. Esta diferença não é tão acentuada de quando se deu maior peso ao factor da distância pois os declives apresentam uma menor

variação ao longo do distrito, como demonstrado na figura 6.1, onde grande parte da área é coberta pela classe de melhor declive.

Para o cenário 2, fazendo-se variar de igual modo o peso atribuído ao declive e às distâncias, obtêm-se os mapas e respectivas áreas de acordo com as figuras em baixo representadas.

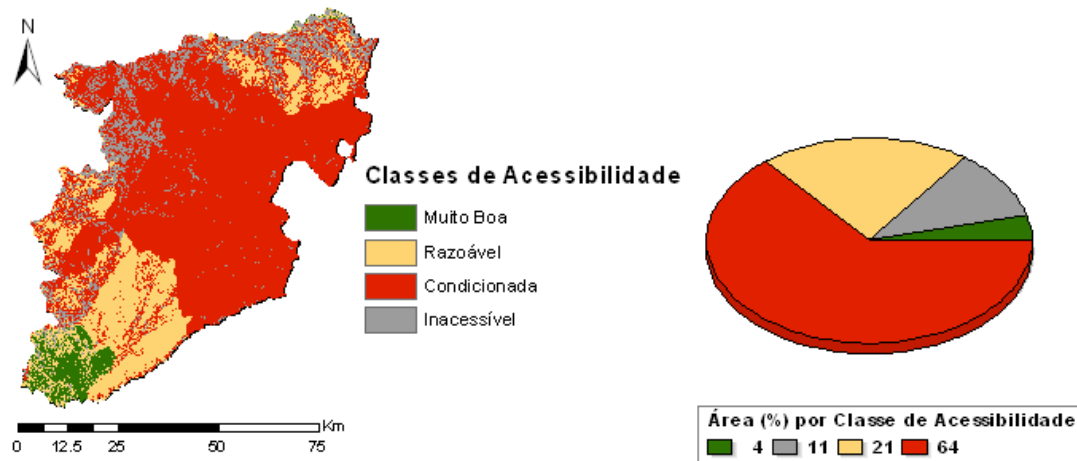


Figura 6.7 - Classes de Acessibilidade para C2A

À semelhança do cenário C1A, o cenário C2A advém de um maior peso atribuído às distâncias (70%) e menor aos declives (30%), no entanto a grande diferença que se observa entre eles está na classe de acessibilidade nula que apresentou uma redução considerável de cerca de 158 012 ha relativamente ao cenário C1A, resultante do raio de influência das três centrais agora cobrir toda a parcela que não era coberta em C1 que considerava apenas a central de Mortágua. Assim sendo esta classe cobre 11% do distrito, ou seja cerca de 56 525 ha o que corresponde apenas às restrições a nível dos declives, uma vez que não se verificam distâncias superiores a 90 km na área de estudo. À semelhança do cenário 1 esta classe de acessibilidade não vai sofrer alterações ao se variar o peso dos declives e distâncias, pois corresponde a uma classe de restrições. A maioria da área foi ocupada pela classe de acessibilidade condicionada, que é de 64% da área total, o equivalente a 321901 ha. Já a classe de acessibilidade razoável ocupa 21% da área de estudo, ou seja, 102911 ha. A classe de melhor acessibilidade apresenta um pequeno acréscimo, relativamente ao cenário C1A pois corresponde a uma pequena parcela a norte do distrito, que se ao se adicionar à já existente em C1, perfazem 4% da área do distrito, equivalente a 19 048 ha.

O cenário ilustrado na figura 6.8 representa as acessibilidade atribuindo igual peso aos declives e às distâncias (50%).

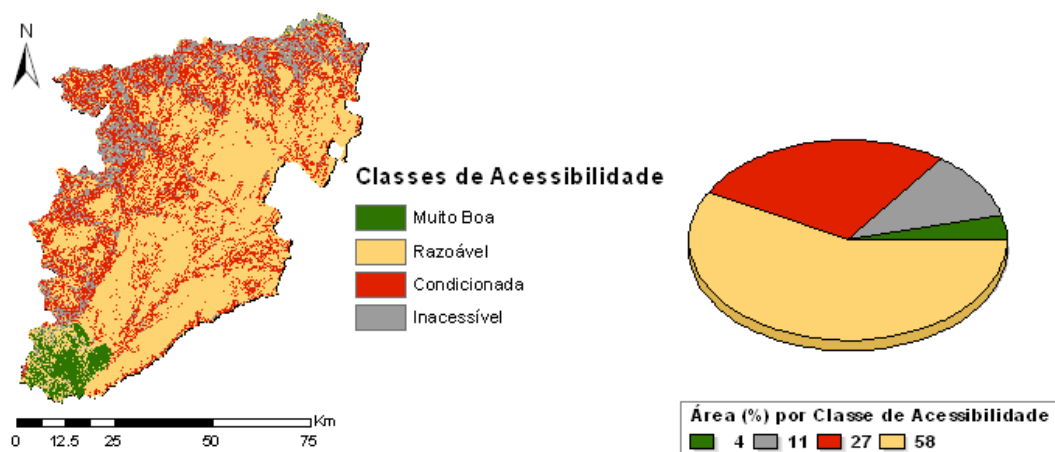


Figura 6.8 - Classes de Acessibilidade para C2B

Uma vez mais, à semelhança do cenário C1B é de esperar que este cenário apresente um aumento na área ocupada pela classe de acessibilidade razoável, derivado da diminuição do peso atribuído à distância, e à homogeneidade dos declives ao longo da área de estudo. Assim sendo as classes de acessibilidade condicionada e razoável ocupam 27% (136761 ha) e 58% (288051 ha) respectivamente. Tanto a classe de melhor acessibilidade como a inacessível mantêm-se idênticas ao cenário C2A ocupando 4% (19 048 ha) e 11% (56 525 ha), tal como se verificou entre os cenários C1.

Ao se dar mais peso aos declives (70%) e menos às distâncias (30%) obtemos o cenário C2C que apresenta ligeiras diferenças para o cenário C2B, à semelhança das diferenças entre os cenário C1C e C1B como demonstra a figura 6.9.

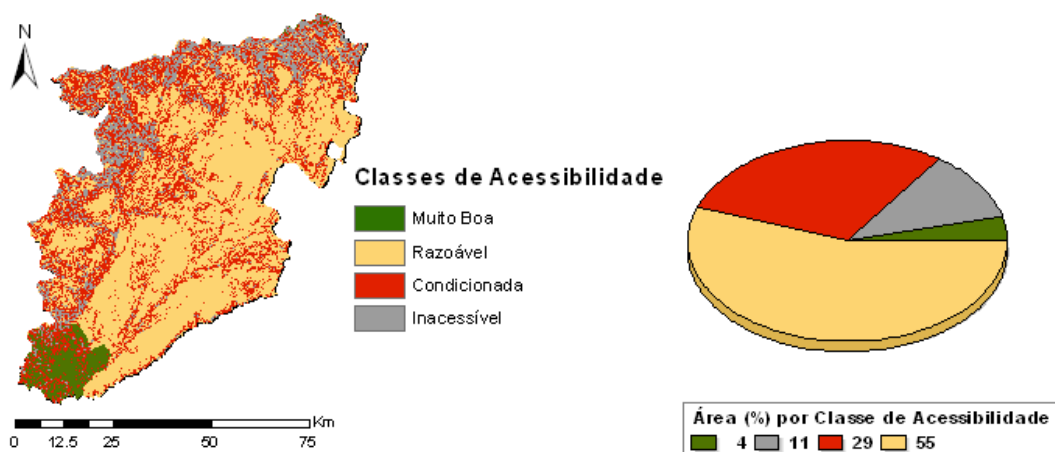


Figura 6.9 - Classes de Acessibilidade para C2C

Mais uma vez não se verificam quaisquer alterações relativas às classes extremas de acessibilidade comparativamente com os outros dois cenários (C2A e C2B), ocupando iguais

áreas. Para a classe de acessibilidade muito boa verifica-se uma ocupação de 4% (19048 ha) e para a classe de acessibilidade nula uma de 11% (56525 ha), enquanto para as acessibilidades razoáveis e condicionadas obtiveram-se áreas de 55% (277464 ha) e 29% (147349 ha) respectivamente. Mais uma vez, relativamente a C2B, as classes de acessibilidades razoáveis inseridas na classe de distância mais favorável, passaram para a classe de acessibilidade condicionada, devido ao aumento do peso dos declives.

A tabela 6.3 resume as principais diferenças entre todos os cenários estipulados.

6.3 - Áreas por Classe de Acessibilidade para cada Cenário

Cenários \ Classes de Acessibilidade	Muito boa		Razoável		Condicionada		Inacessível	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
C1A (30% Declive, 70% Distância)	18781	4	66882	13	200247	40	21437	43
C1B (50% Declive, 50% Distância)	18781	4	193714	39	73414	15	21437	43
C1C (70% Declive, 30% Distância)	18781	4	183868	37	83261	17	21437	43
C2A (30% Declive, 70% Distância)	19048	4	102911	21	321901	64	56525	11
C2B (50% Declive, 50% Distância)	19048	4	288051	59	136761	27	56525	11
C2C (70% Declive, 30% Distância)	19048	4	277464	55	147349	29	56525	11

#### 6.2.2 - Distribuição dos Povoamentos Florestais

Como foi referido anteriormente não se utilizou a carta de ocupação de solo COS90 para a caracterização dos povoamentos florestais, pois as áreas cobertas por cada espécie sofreram alterações significativas ao longo dos 20 anos que a datam. O Inventário Florestal Nacional (IFN5) de 2010 dá-nos uma aproximação desta diferença de onde as áreas cobertas de pinheiro na COS90 representam cerca de 171 000 ha e no IFN5 de 118 000 ha e as áreas de eucalipto na COS90 constam em cerca de 29 000 ha enquanto que no IFN5 são de 50 000 ha. Estas diferenças devem-se em parte aos incêndios de 2003 e 2005 que consumiram grandes



áreas da região, assim como a tendência para o aumento de áreas plantadas de eucalipto proveniente do crescimento da indústria da pasta de papel na zona em estudo.

De modo a se utilizar a carta de ocupação de solo CLC06, foi necessário fazer uma comparação entre a CLC90 e a COS90 onde se estabelece uma relação entre as classes de ambas as cartas de modo a se averiguar o erro associado à simplificação da CLC06, como descrito no ponto 5.2.2. Desta comparação resulta um grau de exactidão de aproximadamente 72% de acordo com a aplicação da fórmula 5.14. Assim optou-se por simplificar a CLC06 em que se assumiu que as classes de resinosas correspondem a povoamentos de pinheiro e a classe das folhosas e mistas correspondem a povoamentos de eucalipto. A sua distribuição ao longo da área de estudo está representada na figura 6.10.

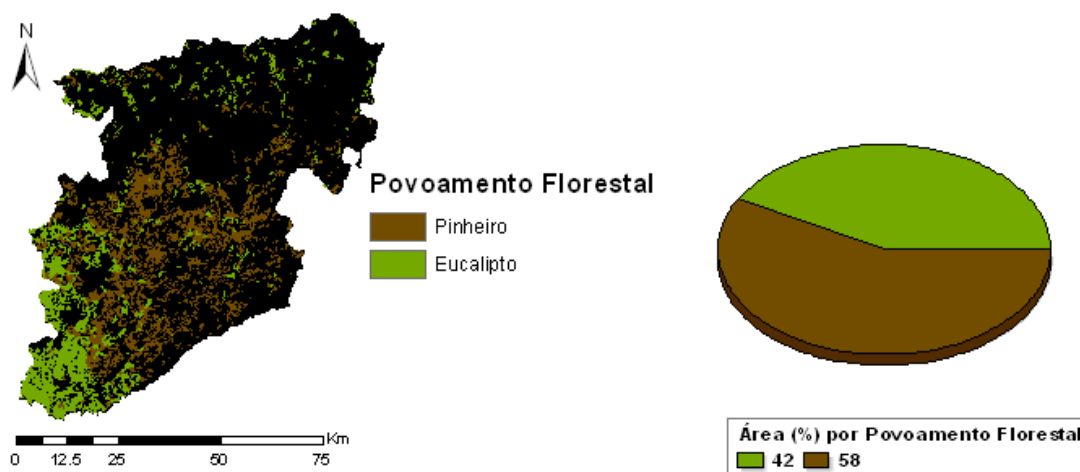


Figura 6.10 - Distribuição dos Principais Povoamentos Florestais

Os povoamentos de Pinheiro são os que maior área ocupam, representando cerca de 58% da área total em estudo, ou seja, 79 531 ha, e encontram-se maioritariamente distribuídos pelo interior centro do distrito. Já os povoamentos de eucalipto ocupam cerca de 42% (57 471 ha) da área de estudo e encontram-se distribuídos predominantemente na zona litoral sul do distrito.

### 6.2.3 - Acessibilidades aos povoamentos

Para avaliar as acessibilidades aos principais povoamentos florestais e estudar a sua variação de acordo com os diferentes cenários estipulados foram obtidos os seguintes mapas e respectivas áreas em hectares e em percentagem, relativamente à área total do povoamento.

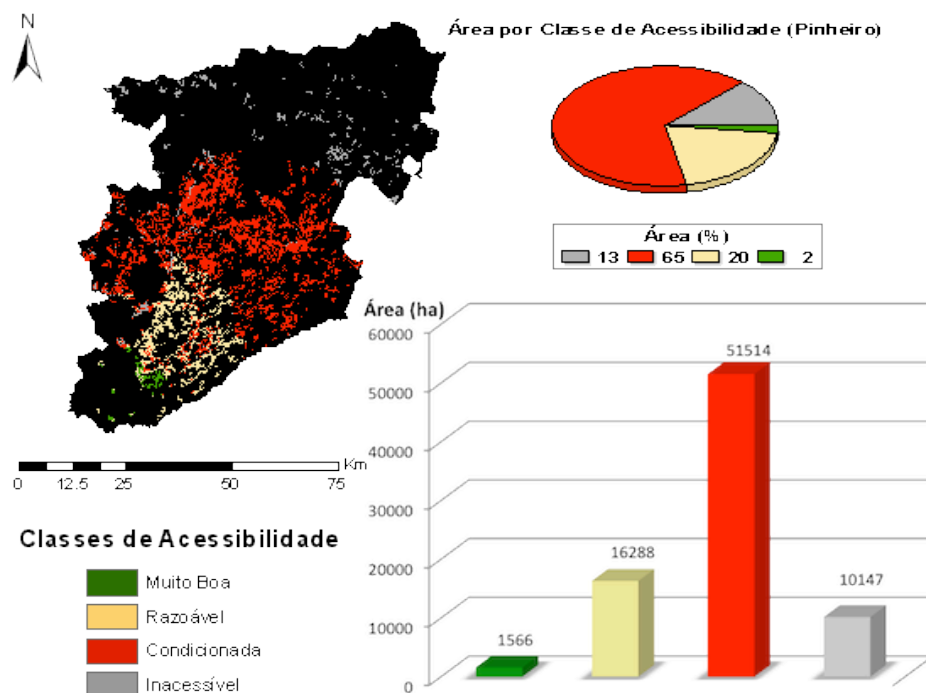


Figura 6.11 - Classes de Acessibilidade a Pinheiros para C1A

No cenário C1A os povoamentos de pinheiro encontram-se maioritariamente inseridos na classe de acessibilidade condicionada, cerca de 51 514 ha (65% da área de povoamentos de pinheiro) enquanto as classes de acessibilidades muito boa e razoável ocupam uma área de 1566 ha e 16288 ha respectivamente. Já os povoamentos de pinheiro inseridos na classe de acessibilidade nula ocupam uma área de cerca de 10 147 ha. Como se verificou anteriormente nos mapas referentes às classes de acessibilidades, as áreas consideradas inacessíveis e muito boas não vão sofrer alterações ao se variar o peso atribuído às distâncias e declives, como tal, a área correspondente a pinheiros inacessíveis irá permanecer a mesma ao longo dos cenários referentes a C1.

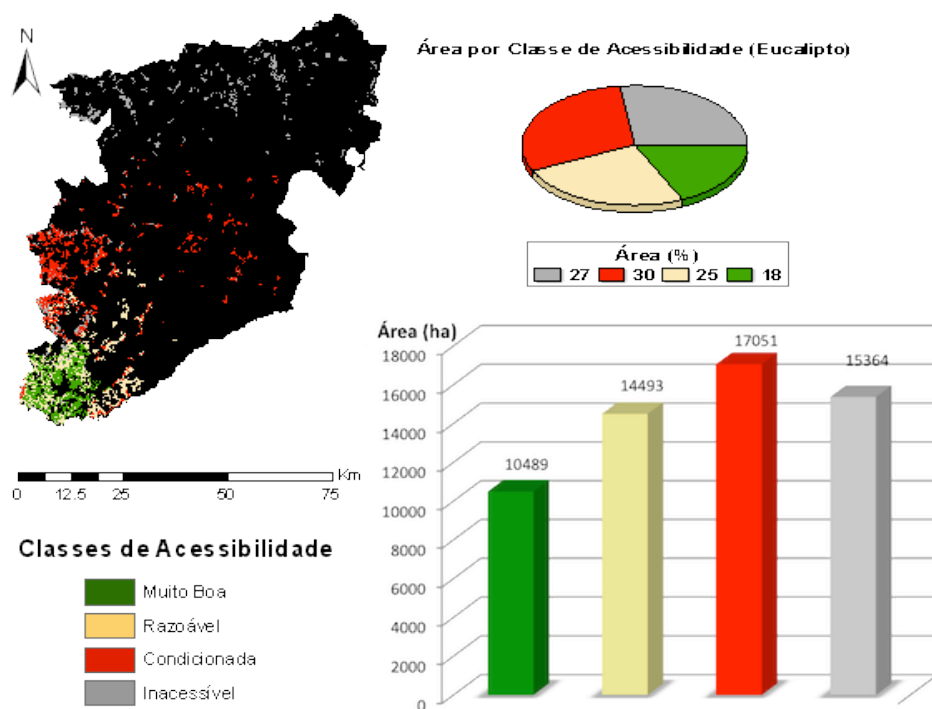


Figura 6.12 - Classes de Acessibilidade a Eucaliptos para C1A

Ainda no cenário C1A, as classes de acessibilidade referentes ao povoamentos de eucalipto não apresentam grandes variações entre elas como verificadas nos povoamentos de pinheiro, isto porque os povoamentos de eucalipto, para além de terem áreas inferiores, estão menos dispersos que os de pinheiro, abrangendo menos classes de acessibilidade. Assim verifica-se que a classe de acessibilidade condicionada a eucaliptos que ocupa maior área, cerca de 17051 ha enquanto as classe de acessibilidades muito boa e razoável incluem 10489 ha e 14493 ha de eucaliptos, respectivamente. À semelhança dos povoamentos de pinheiro, e pelas mesmas razões, os eucaliptos considerados como inacessíveis apresentam uma área constante ao longo dos vários cenários em C1 de 15364.

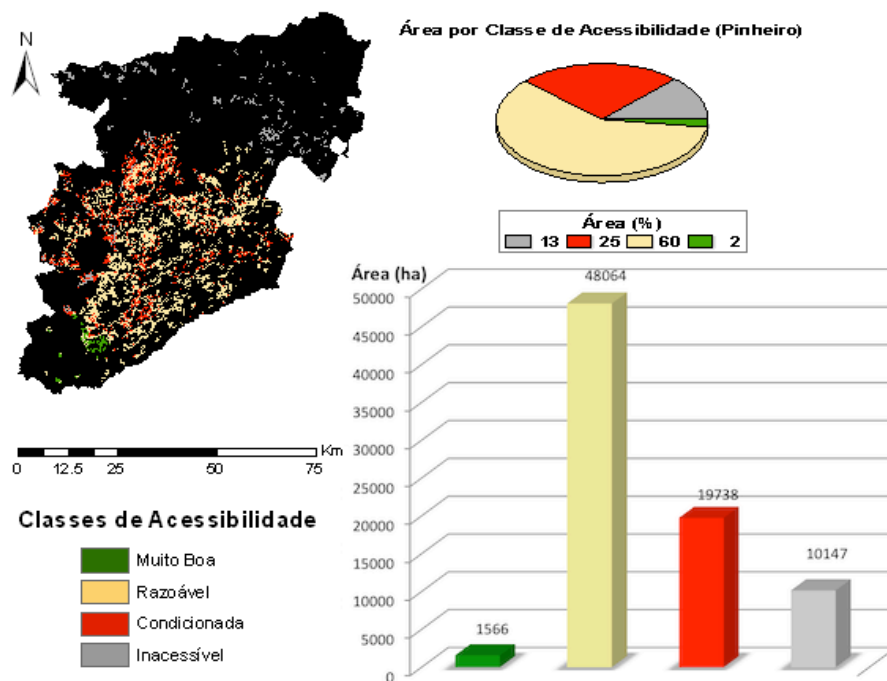


Figura 6.13 - Classes de Acessibilidade a Pinheiros para C1B

Relativamente ao cenário C1B, os povoamentos de pinheiro apresentam grandes alterações relativamente à sua acessibilidade, nomeadamente na substituição de uma área considerável classificada como condicionada, de 19 738 ha, que agora se classifica como razoável ocupando uma área de 48 064 ha, equivalente a 60% da área total dos povoamentos de pinheiro. Já os pinheiros de acessibilidade muito boa bem como os inacessíveis apresentam-se constantes, relativamente a C1A com áreas de 10147 e 1566 ha respectivamente.

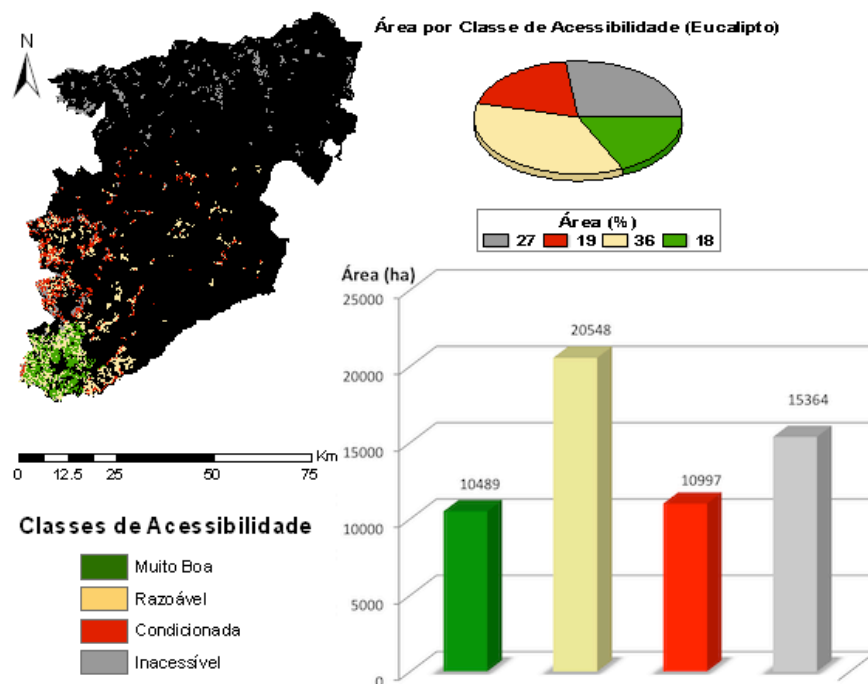


Figura 6.14 - Classes de Acessibilidade a Eucaliptos para C1B

Os povoamentos de eucalipto no cenário C1B, embora apresentem a mesma tendência dos de pinheiro, esta diferença entre as áreas de acessibilidade razoável e condicionada não são tão expressivas, pois encontram-se distribuídos na zona sul do distrito, predominantemente coberta por áreas de acessibilidade muito boa. Os eucaliptos de classe razoável e condicionada apresentam áreas de 20548 ha e 10997 ha respectivamente, enquanto os de classe muito boa e inacessíveis se mantiveram constantes em relação ao cenário C1A com 10489 e 15364 ha de áreas respectivamente.

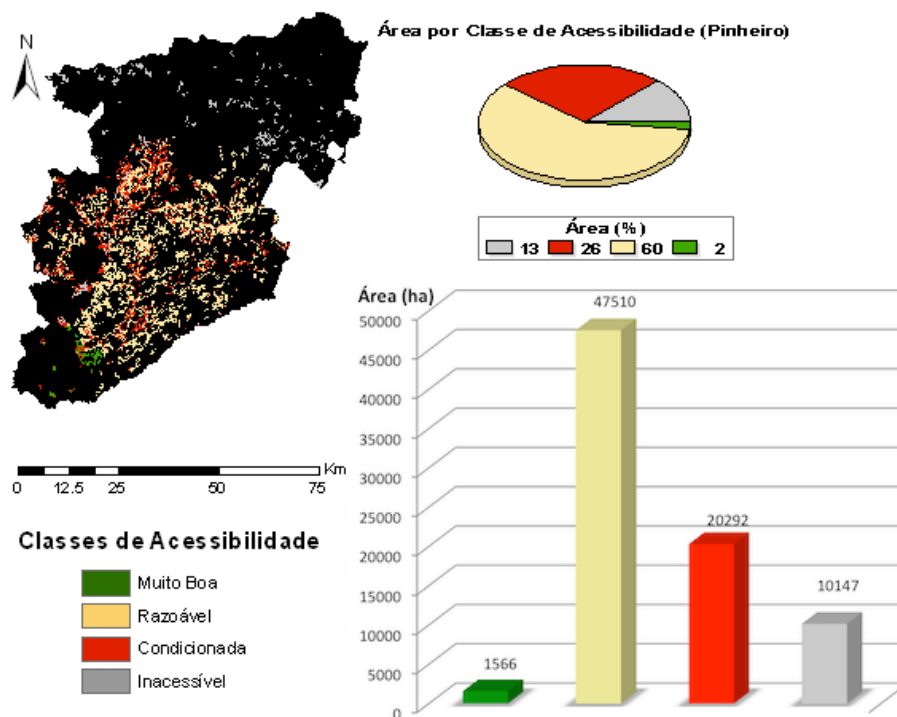


Figura 6.15 - Classes de Acessibilidade a Pinheiros para C1C

Em relação ao cenário C1B, o cenário C1C representado na figura em cima, apenas apresenta uma ligeira variação entre as classes de pinheiros de acessibilidades razoáveis e condicionada que ocupam áreas de 47510 e 20292 ha respectivamente. Esta diferença de cerca de 500 ha apenas se deve à mudança de classe razoável para condicionada inserida no sul do distrito, que por sua vez corresponde à classe de distância à central de Mortágua mais favorável. Já as classes extremas de acessibilidades mantiveram-se constantes.

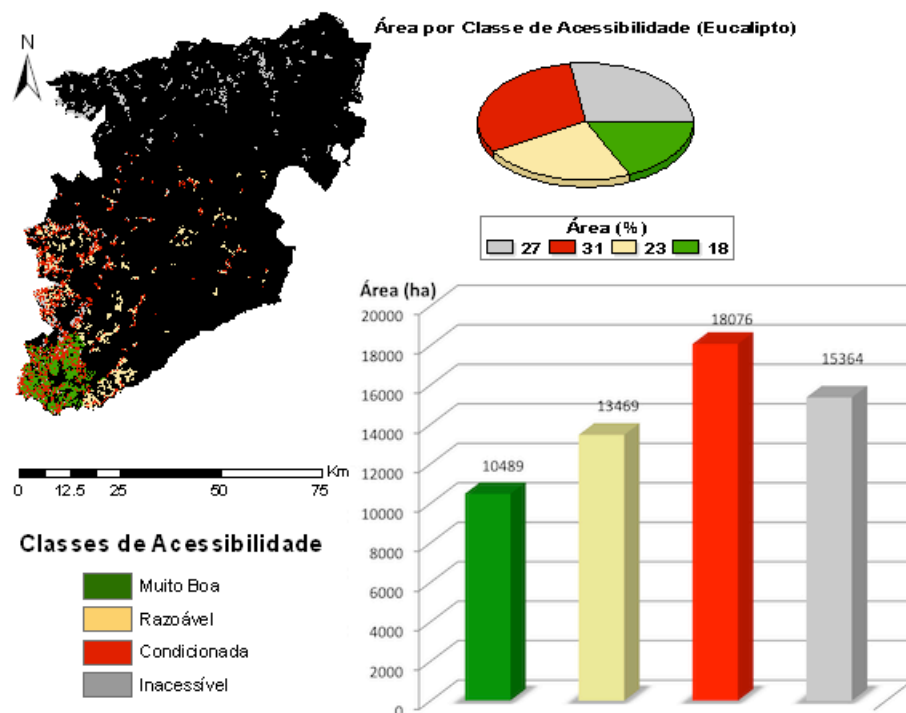


Figura 6.16 - Classes de Acessibilidade a Eucaliptos para C1C

Como se verificou para os povoamentos de pinheiro no cenário C1C, os povoamentos de eucalipto apresentaram uma transição de classe razoável para condicionada ocupando respectivamente 13469 e 18076 ha de área. No entanto esta diferença foi mais expressiva em relação ao pinheiro, em cerca de 7000 ha, pois os povoamentos de eucalipto encontram-se mais concentrados na zona sul onde se verificou as alterações de acessibilidade. Os eucaliptos considerados como muito acessível e inacessíveis mantiveram a mesma área de 10489 e 15364 ha respectivamente.

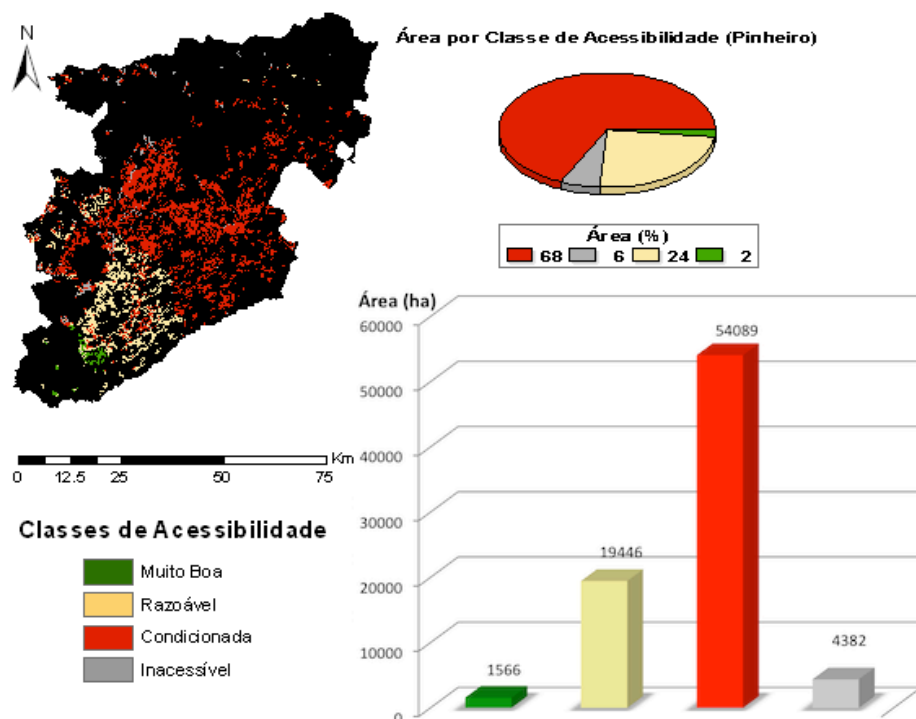


Figura 6.17 - Classes de Acessibilidade a Pinheiros para C2A

A grande diferença observada comparativamente com os cenários C1 nas acessibilidades aos povoamentos de pinheiro é a redução das áreas ocupadas pelos classificados como inacessíveis de 5765 ha, ocupando agora apenas a 4382 ha, ou seja, são pinheiros que se situam em zonas de declive cuja sua exploração é considerada como não viável. Esta área, manter-se-á constante durante os cenários C2 por ser uma restrição independente da ponderação atribuída à outras condicionantes. A classe de acessibilidade de pinheiros muito boa também se manteve constante, isto porque, entre os cenários C1 e C2 esta classe de acessibilidade apenas sofreu um pequeno acréscimo relativamente a uma zona no norte do distrito, que por sua vez não continha povoamentos de pinheiro. Os de acessibilidade muito boa mantêm a mesma área de 1566 ha, que também se irá manter constante ao longo dos cenários C2. Já para as áreas de pinheiros com acessibilidade razoável e condicionada verificou-se uma aumento da sua área comparativamente com o cenário C1A de 3158 e 2575 ha respectivamente ocupando agora uma área de 1946 e 54089 ha cada uma, sendo esta última bastante expressiva, representando 68% da área total dos povoamentos.



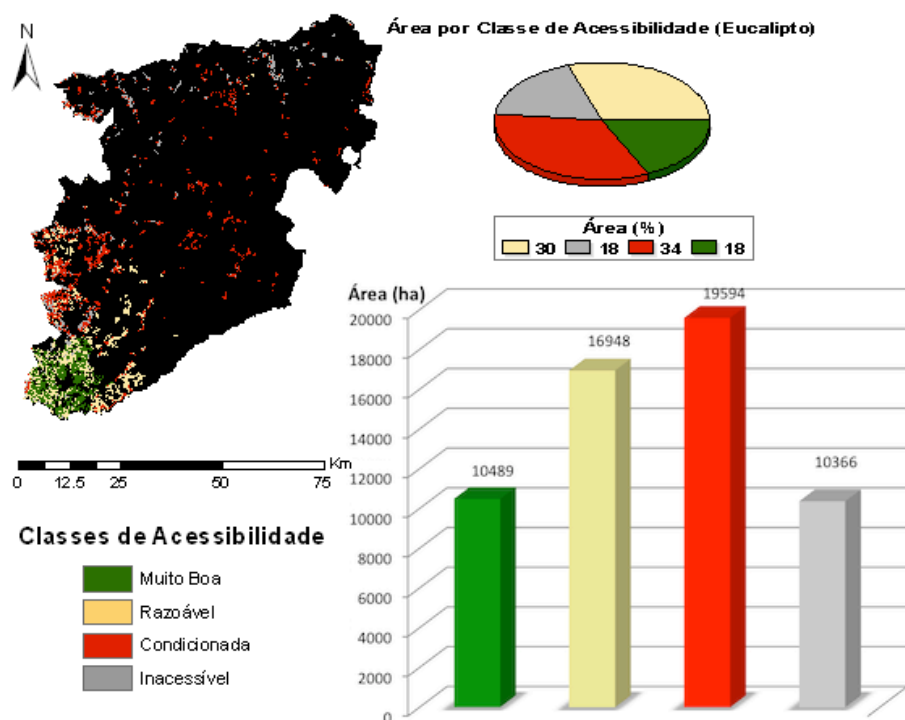


Figura 6.18 - Classes de Acessibilidade a Eucaliptos para C2A

A redução da área de eucaliptos inacessíveis também se verificou entre os cenários C1 e C2 em cerca de 49908, embora tenha sido menos expressiva relativamente aos povoamentos de pinheiro, pela área do distrito que passou a ser acessível não conter tantos eucaliptos como pinheiros. Deste modo os eucaliptos que são classificados como inacessíveis ocupam agora uma área de 10366 ha. À semelhança do que se verificou entre o cenário C1 e C2 para os povoamentos de pinheiro, a classe de eucaliptos de muito boa acessibilidade não sofreu alterações, mantendo o seu valor de 10489 ha, por não haver também povoamentos na pequena parcela do distrito agora classificada com acessibilidade muito boa. Esta valor manter-se-á constante ao longo de todo o cenário C2. Já as classes de eucaliptos de acessibilidade razoável e condicionada, sofreram um acréscimo de 2455 e 2543 ha respectivamente, ocupando agora 16948 e 19594 ha cada uma delas.

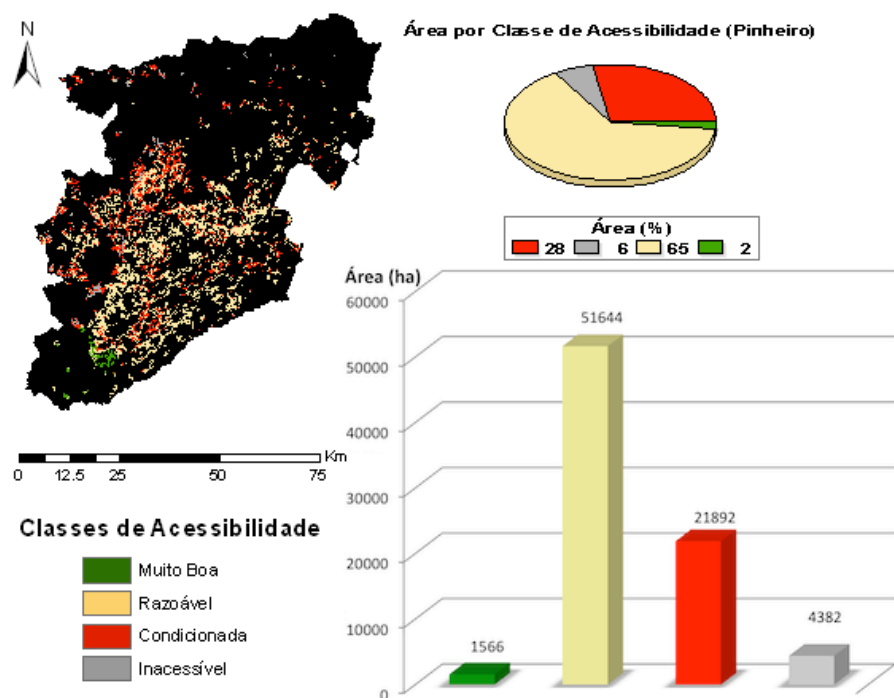


Figura 6.19 - Classes de Acessibilidade a Pinheiros para C2B

Para o cenário C2B, os pinheiro de acessibilidade razoável sofreram um acréscimo significativo ocupando agora 51644 ha o que corresponde a 65% da área total dos povoamentos de pinheiro. Comparativamente com o cenário C1B esta classe apresentou um aumento de 3580 ha, enquanto que para a classe de pinheiros com acessibilidade condicionada observou-se uma aumento de 2154 ha, ocupando agora em C2B uma área de 21892. Em ambos os cenários C1 e C2 verificou-se uma diminuição da classe de pinheiros com acessibilidade condicionada de 20% relativamente à área total do povoamento dando lugar aos pinheiros com acessibilidade razoável. As classes de pinheiros com de acessibilidade muito boa e os inacessíveis mantiveram-se com áreas iguais a C2A de 1566 e 4382 ha respectivamente.

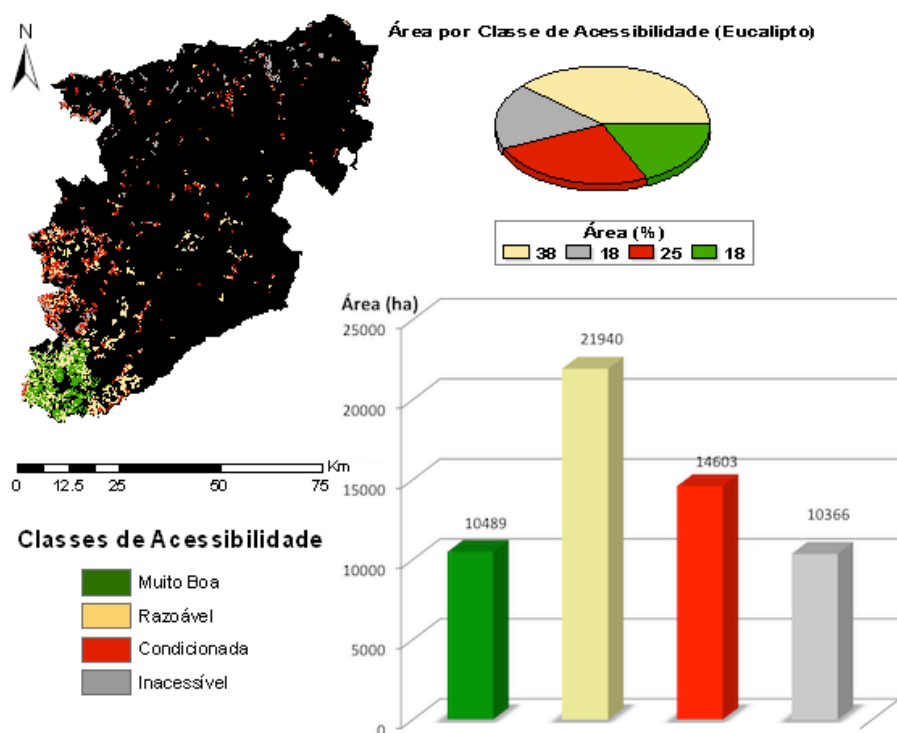


Figura 6.20 - Classes de Acessibilidade a Eucaliptos para C2B

À semelhança dos povoamentos de pinheiro os eucalipto com acessibilidade condicionada sofreram um decréscimo da sua área de 4991 ha relativamente a C2A, ocupando agora 14603 ha. Comparativamente com o cenário C1B esta classe sofreu um aumento de 3606 ha. Já os eucaliptos com acessibilidade razoável apresentam o mesmo acréscimo dos de acessibilidade condicionada (4991 ha) e perfazem 21940 ha do distrito, o que corresponde a um aumento de 1392 ha relativamente a C1B. Também à semelhança do cenário C1 não é de esperar que os eucaliptos apresentem uma diferença tão acentuada entre as classes de acessibilidade condicionada e razoável comparando com o cenário C2A pois a área onde estão pouco dispersos, o que faz com que o factor da distância não tenha tanta influência na sua acessibilidade. As classes de acessibilidade nula e muito boa apresentam-se constantes com áreas de 10366 e 4382 ha respectivamente.

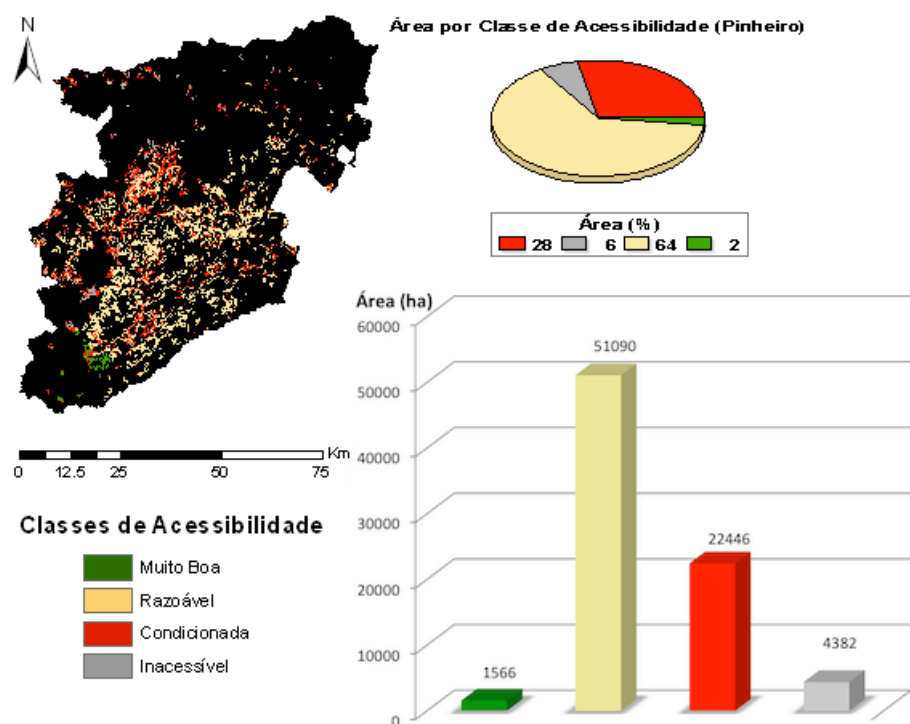


Figura 6.21 - Classes de Acessibilidade a Pinheiros para C2C

Os povoamentos de pinheiro não apresentam grandes variações relativamente ao cenário C2B, pois a área onde ocorre a mudança de acessibilidade contém poucos pinheiros. Assim sendo a classe de acessibilidade razoável sofre uma decréscimo de 554 ha ocupando agora 51090 ha, dando lugar a pinheiros de acessibilidade condicionada que ocupam 22446 ha. Relativamente a C1C o cenário C2C apresenta um aumento nas classes de acessibilidade razoáveis e condicionada de 3580 e 2154 ha. Os pinheiros com melhor e pior acesso apresentam áreas constantes de 1566 e 4382 ha respectivamente.

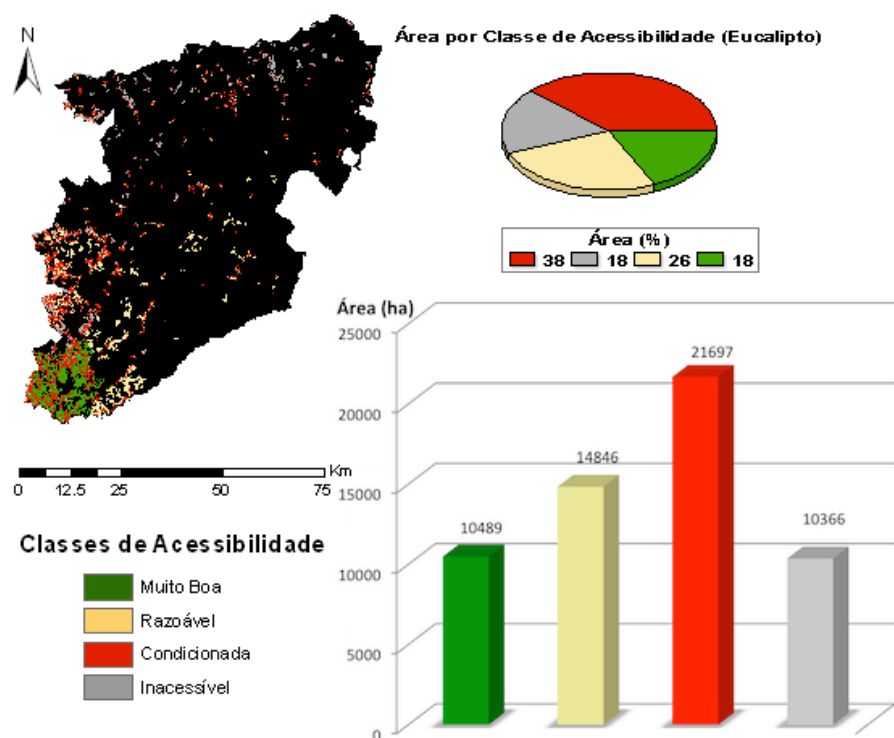


Figura 6.22 - Classes de Acessibilidade a Eucaliptos para C2C

Já os povoamentos de eucalipto, por estarem concentrados na zona onde ocorre a mudança nas classes de acessibilidades verifica-se uma alteração de 7094 ha onde a os eucaliptos com acessibilidade razoável e condicionada ocupam 14846 e 21697 ha respectivamente. Comparativamente com o cenário C1C, são os eucaliptos com acessibilidades condicionadas que apresentam um maior aumento (de 3621 ha) comparando com os de razoáveis acessos, que aumentaram em 1377 ha. Os eucaliptos com classes de acessibilidade extrema mantiveram-se constantes.

Em baixo seguem-se as tabelas 6.4 e 6.5 onde se resumem as áreas por cada classe de acessibilidade para os povoamentos de pinheiro e eucalipto para todos os cenários estipulados.

Tabela 6.4 - Áreas dos Povoamentos de Pinheiro por Classe de Acessibilidade para cada Cenário

Classes de Acessibilidade Cenários	Muito Boa		Razoável		Condicionada		Inacessível	
	A (ha)	A (%)	A (ha)	A (%)	A (ha)	A (%)	A (ha)	A (%)
C1A (30% Declive, 70% Distância)	1566	2	16288	20	51514	65	10147	13
C1B (50% Declive, 50% Distância)	1566	2	48064	60	19738	25	10147	13
C1C (70% Declive, 30% Distância)	1566	2	47510	60	20292	26	10147	13
C2A (30% Declive, 70% Distância)	1566	2	19446	24	54089	68	4382	6
C2B (50% Declive, 50% Distância)	1566	2	51644	65	21892	28	4382	6
C2C (70% Declive, 30% Distância)	1566	2	51090	64	22446	28	4382	6

Tabela 6.5 - Áreas dos Povoamentos de Eucalipto por Classe de Acessibilidade para cada Cenário

Classes de Acessibilidade Cenários	Muito Boa		Razoável		Condicionada		Inacessível	
	A (ha)	A (%)	A (ha)	A (%)	A (ha)	A (%)	A (ha)	A (%)
C1A (30% Declive, 70% Distância)	10489	18	14493	25	17051	30	15364	27
C1B (50% Declive, 50% Distância)	10489	18	20548	36	10997	19	15364	27
C1C (70% Declive, 30% Distância)	10489	18	13469	23	18076	31	15364	27
C2A (30% Declive, 70% Distância)	10489	18	16948	30	19594	34	10366	18
C2B (50% Declive, 50% Distância)	10489	18	21940	38	14603	25	10366	18
C2C (70% Declive, 30% Distância)	10489	18	14846	26	21697	38	10366	18

A figura 6.23 representa o mapa de densidades dos povoamentos de pinheiro e eucalipto de acordo com um raio de 12,5 Km, e cujo valor se apresenta como uma média das células dentro desse raio que contém o respectivo povoamento florestal.

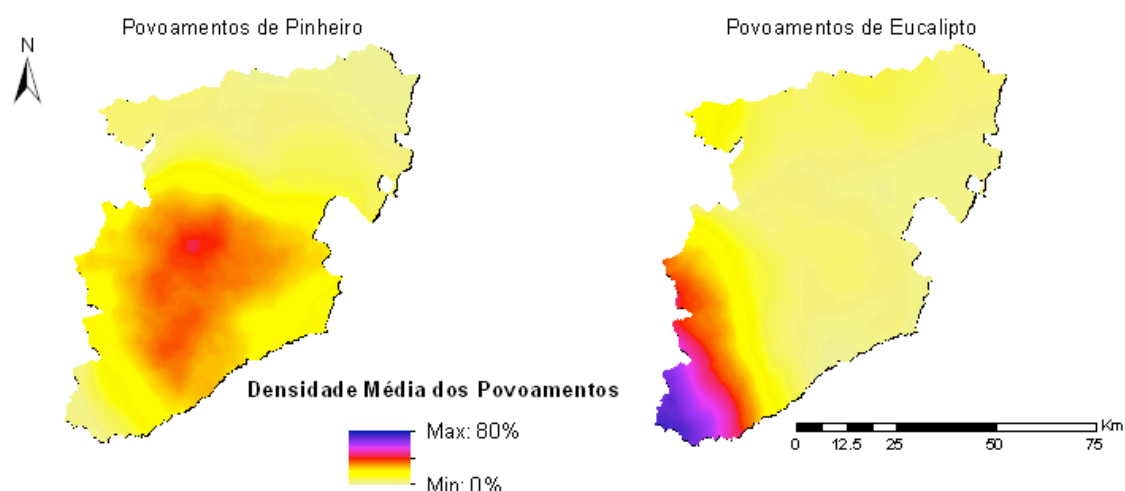


Figura 6.23 - Densidades Médias dos Povoamentos de Pinheiro e Eucalipto

Como se pode observar na figura embora os povoamentos de pinheiro apresentem maior área, estes estão mais dispersos pelo centro do distrito, apresentando densidades médias até cerca de 40%. Já os povoamentos de Eucaliptos encontram-se bem concentrados no sul do distrito a densidades médias que podem atingir os 75%.

Com base nestas cartas de densidade optou-se por se fazer uma reclassificação em 5 classes de densidade de modo a se estudar a distribuição das duas melhores áreas de acessibilidade de cada povoamento: a razoável e a muito boa, consideradas como uma só para efeitos de cálculos de áreas, ao longo das respectivas densidades médias, como se pode observar da figura 6.24 até à 6.27.

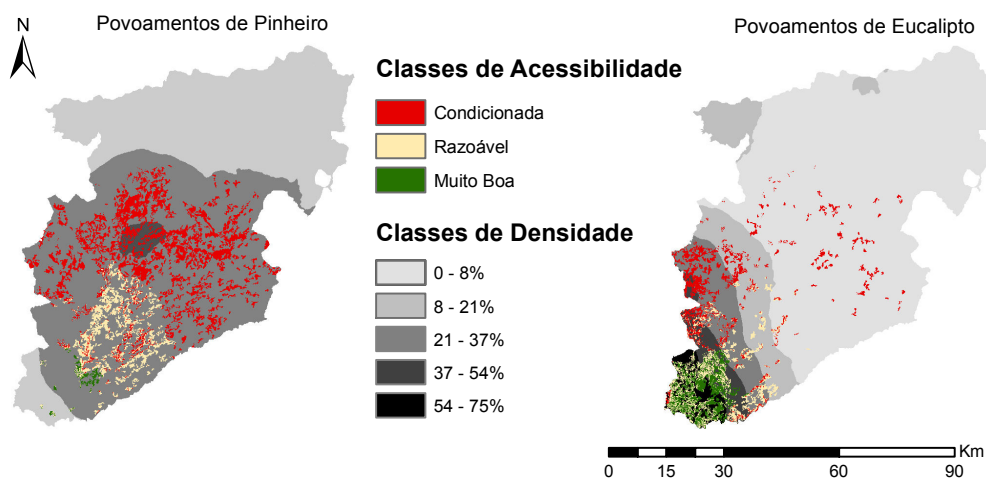


Figura 6.24 - Distribuição das Classes de Acessibilidade (C1A) pelas Classes de Densidade

Para o cenário C1A e relativamente aos povoamentos de pinheiro, 99% da área ocupada pelas duas melhores classes de acessibilidade encontram-se nas zonas onde os povoamentos apresentam uma densidade média de 21 a 37% ocupando 17656 ha e apenas uma pequena minoria de 198 ha se encontra em densidades entre 8 a 21%. Já para as restantes classes de densidades não se verificam povoamentos de pinheiro. Para os povoamentos de eucalipto as melhores classes de acessibilidade encontram-se maioritariamente distribuídas em regiões de classes de densidade de 54 a 75%, ocupando 11944 ha (48%) e nas regiões de 37 a 54% ocupam 7190 ha (29%).

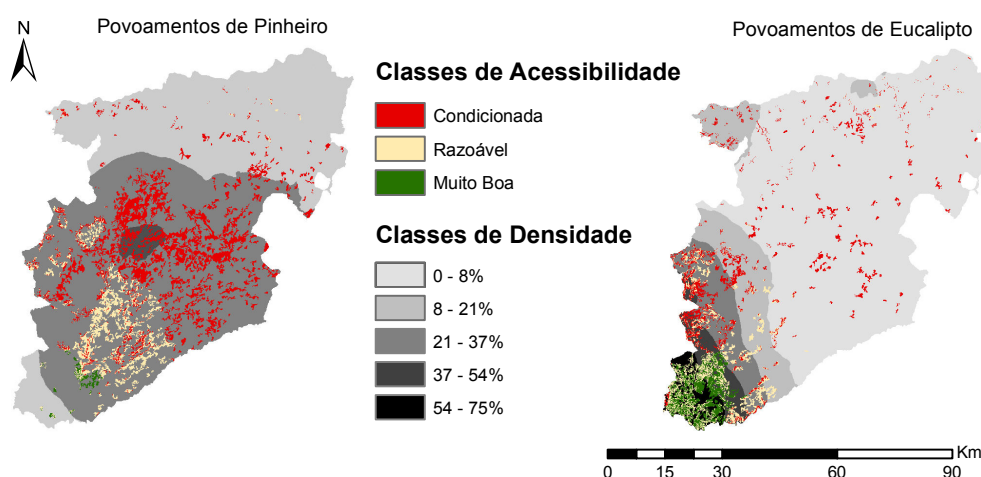


Figura 6.25 - Distribuição das Classes de Acessibilidade (C2A) pelas Classes de Densidade

No cenário C2A, a distribuição das melhores classes de densidade, quer para povoamentos de pinheiro quer para povoamentos de eucalipto seguem a mesma tendência relativamente ao cenário C1A, com a diferença de um ligeiro acréscimo nas áreas ocupadas, onde para povoamentos de pinheiro com densidades de 21 a 37% se encontrem 97% (20456 ha) das melhores classes de acessibilidade e para as densidades de 8 a 21% apenas se observam 556 ha, que representam 3% da área dos povoamentos mais acessíveis. Os povoamentos de eucalipto com densidades médias de 54 a 75% e 37 a 54% contêm cerca de 11944 ha (44%) e 7497 ha (27%) respectivamente, das melhores classes de acessibilidade.

Na óptica mais optimista é de esperar que as áreas ocupadas pelas duas melhores classes de acessibilidade sofram um considerável acréscimo consequente da mudança de grandes áreas classificadas com acessibilidade condicionada para classes de acessibilidade razoável. As figuras 6.26 e 6.27 os cenários mais optimistas (C1B e C2B).



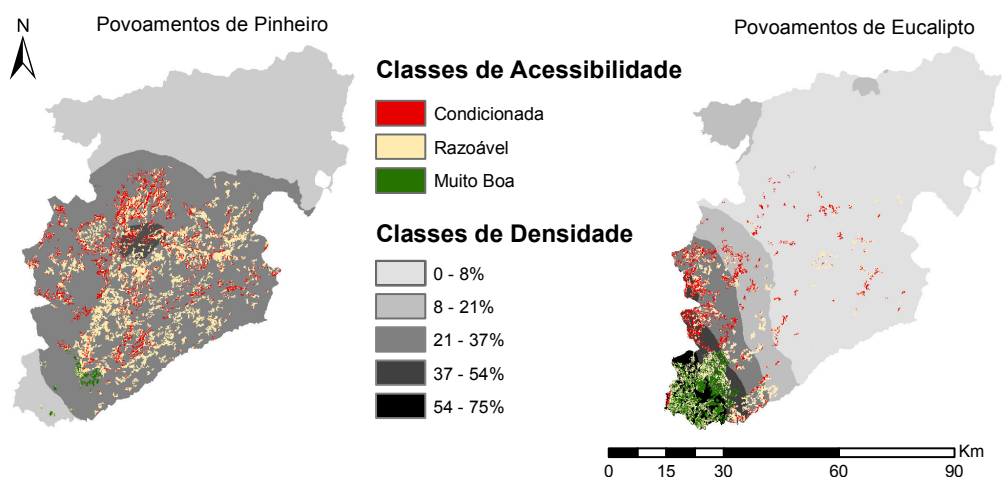


Figura 6.26 - Distribuição das Classes de Acessibilidade (C1B) pelas Classes de Densidade

No cenário C1B já se observa a presença de 1582 ha (3%) dos povoamentos de pinheiro mais acessíveis nas regiões de 37 a 54% de densidade, no entanto a maioria (96%) continua distribuída na classe de densidade média de 21 a 37% ocupando 47850 ha. Os povoamentos de eucalipto com melhor acessibilidade encontram-se maioritariamente (38%) nas regiões de densidade de 54 a 75% ocupando a mesma área relativamente a C1A de 11944 ha. No entanto, relativamente a C1A, há um considerável aumento na área de eucalipto inserido nas classes de menor densidade onde agora ocupam cerca de 2827 ha e 2711 ha para densidades médias de 0 a 8% e 8 a 21% respectivamente.

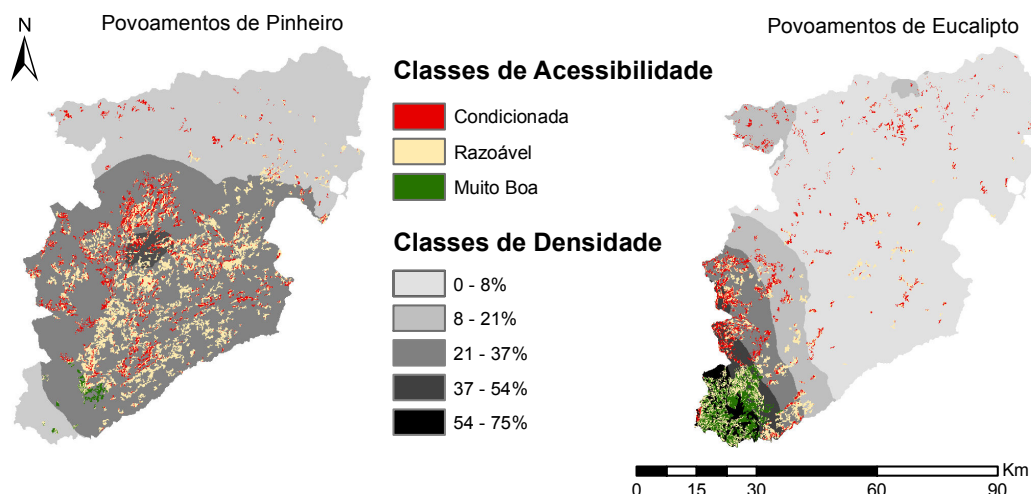


Figura 6.27 - Distribuição das Classes de Acessibilidade (C2B) pelas Classes de Densidade

Relativamente aos pinheiros de melhor acessibilidade no cenário C2B, estes apresentam um acréscimo considerável nas classes de densidade média de 8 a 21% ocupando agora 2729 ha, sendo que as restantes classes de densidade não apresentam grandes alterações de área relativamente a C1B. Para os povoamentos de eucalipto verifica-se também um aumento das

áreas de melhor acessibilidade nas zonas de densidade média mais baixa, ocupando 4039 ha , e, à semelhança dos povoamentos de pinheiro, as áreas inseridas nas restantes classes de densidade não registaram grandes alterações, sofrendo apenas um pequeno acréscimo.

A tabela 6.6 resume as áreas ocupadas pelas duas melhores classes de acessibilidade distribuídas ao longo das classes de densidade, para cada cenário.

Tabela 6.6 - Áreas dos Povoamentos para cada Classe de Densidade

Cenários	C1A		C2A		C1B		C2B	
Classes de Densidade	Área Pinheiro (ha)	Área Eucalipto (ha)	Área Pinheiro (ha)	Área Eucalipto (ha)	Área Pinheiro (ha)	Área Eucalipto (ha)	Área Pinheiro (ha)	Área Eucalipto (ha)
0 - 8 %	0	415	0	701	0	2827	0	4039
8 - 21 %	198	2001	556	2199	198	2711	2729	2890
21 - 37 %	17656	3432	20456	5095	47850	5960	48899	5960
37 - 54 %	0	7190	0	7497	1582	7595	1582	7595
54 - 75 %	0	11944	0	11944	0	11944	0	11944

### 6.3 - Contribuição para a produção de energia

Para o calculo de energia que potencialmente pode ser gerada através da BFR existente no distrito de Viseu, não foi feita distinção entre as diferentes classes de acessibilidade dos povoamentos florestais, tendo sido apenas excluídas as áreas de povoamentos inacessíveis. Deste modo foram obtidas as respectivas áreas para os cenários C1 e C2. Pela aplicação da equação 5.12 e 5.13, de onde a BFR de pinheiro e eucalipto é de 1,90 e 1,38 ton ms/ha.ano respectivamente, obteve-se a energia produzida, como demonstra a tabela 6.4. Os valores apresentados correspondem já ao somatório da BFR de eucalipto e pinheiro, embora os cálculos destas tenham sido feitos separadamente, por terem produções e PCIs diferentes.

Por fim e considerando o consumo de energia do distrito de Viseu de 2009 de 4919 TJ (DGGE, 2010) obteve-se a contribuição para a produção de energia que a BFR pode vir a trazer, relativamente às necessidades energéticas do distrito de Viseu.

Tabela 6.7 - Potencial Energético do Distrito de Viseu para C1 e C2

	C1	C2
<b>Área Povoamentos Florestais (ha)</b>	114401	122134
<b>Produção de BFR (ton ms/ano)</b>	190257,7	208096,3
<b>Energia (TJ/ano)</b>	712,1	778,53
<b>Contribuição da Produção de Energia (%)</b>	14,47	15,82

Como seria de esperar é em C2 que a potencial energético da biomassa é maior, devido às maiores áreas de povoamentos florestais que engloba. No entanto a diferença entre os dois cenário é de 17838,3 ton ms /ano que se transcreve em 66,43 TJ/ano.



## 7. CONCLUSÕES

A zona de estudo apresenta-se como um elevado potencial de biomassa, quer a nível da produção nos pinheiros e eucaliptos derivadas das condições climatéricas locais, quer pela extensão das áreas que eles ocupam. Para, os modelos de silvicultura testados, e para os povoamentos de pinheiros estima-se que se produzam anualmente 1,90 ton ms/ha e para os povoamentos de eucalipto 1,32 ton ms/ha. A diferença observada deve-se ao facto da exploração de pinheiro gerar maior quantidade de resíduos provenientes dos desbastes e desramações, relativamente ao eucalipto em que apenas se contabilizam os cortes finais.

A inserção das duas novas centrais a biomassa de Vila Real e Carregosa permitem aumentar o raio de acção para a exploração da biomassa cobrindo cerca de 39% da área do distrito que se apresentavam a uma distância à central de Mortágua pouco favorável. Ao se ter em conta as distâncias e os declives como dois factores com influência directa na acessibilidade, observa-se pela variação do peso atribuído a cada um que, para a área de estudo, a distância é mais sensível que os declives podendo fazer com que condicionantes como o preço dos combustíveis ou a rede de estradas tenham um elevado peso para a exploração da biomassa a nível do distrito.

Relativamente aos povoamentos de pinheiro, estes também são mais sensíveis à variação do peso atribuído à distância, uma vez que ocupam maior área e se encontram mais dispersos, sendo que mais de 90% dos povoamentos apresenta uma densidade média entre 21 a 37%. Já os povoamentos de eucalipto por apresentarem maior densidade nas áreas que ocupam reflectem serem mais sensíveis à variação do peso atribuído ao declive do que à distância.

Para o cenário C1 o potencial de produção de energia a partir de BFR cobre cerca de 14,47% das necessidades energéticas do distrito enquanto para C2 a contribuição aumenta para 15,82%.

A biomassa apresenta-se assim como uma alternativa para contribuir para a produção de energia para o distrito de Viseu, dinamizando não só os mercados relativos à exploração florestal, como permite também criar riqueza e fixar a população em zonas rurais e pouco desenvolvidas do país.



## 8. LIMITAÇÕES E TRABALHO FUTURO

Os resultados obtidos no presente trabalho apresentam algumas limitações no que toca à qualidade dos dados utilizados e nos pressupostos assumidos na metodologia.

Os modelos aplicados de silvicultura são uma estimativa de produção de BFR com base em características da zona e das práticas silvícolas de cada espécie onde a biomassa calculada das várias componentes da árvore provem de equações ou factores com um determinado erro associado. A diferença entre se ter usado um povoamento “médio” que, através dele, se construiu uma tabela de produção que se assume estática num período de 48 anos (eucalipto) e 40-45 anos (pinheiro) e a utilização de simuladores que englobam uma série de condicionantes associadas, permitindo-nos definir diferentes produções para diferentes cenários, tais como novas áreas arborizadas, desflorestação, áreas de corte, etc, poderia também diminuir o erro nos modelos silvícolas. No caso dos pinheiros, assumiu-se também que todas as árvores removidas nos desbastes terão como destino a produção de energia, contudo até aos 20 anos de idade de facto não têm valor comercial, mas a partir desta idade já podem ser aproveitadas com outros fins que não a energia, sendo a biomassa estimada um pouco superior à real. Foi também assumido o facto de os povoamentos de pinheiro e eucalipto serem puros, não se fazendo a distinção destes dos povoamentos mistos, bem como contabilizados os pinheiros mansos como sendo pinheiros bravos. Ao não se considerar as diferentes idades dos povoamentos assume-se que toda a área é igual.

No que respeita à extracção da biomassa, também é importante reter que nem toda pode ser contabilizada, pois fica sempre alguma no terreno havendo sempre um desperdício quer a nível das operações de exploração quer ao nível do transporte. Relativamente à BFR de eucalipto é importante referir que o facto de terem sido contabilizadas as folhas, por estas serem de difícil separação no terreno, pode originar níveis de PCI inferiores ao assumido, pois as folhas contêm um teor mais elevado de humidade, reflectindo-se numa menor produção de energia. No entanto a produção de BFR pode estar subestimada pois não foram consideradas outras fontes de BFR, tais como os desperdícios das indústrias, a remoção dos cepos e a biomassa proveniente de áreas ardidas, fazendo com que o potencial a nível de BFR da área de estudo possa ser maior do que o estimado.

A nível da análise geográfica há certamente um erro associado à qualidade dos dados utilizados, nomeadamente na localização das centrais a concurso de Vila Real e Carregosa, que embora estejam adjudicadas e com localização definida, dependem de outros factores que possam fazer com que a sua localização seja alterada ou podem mesmo por em causa a sua

laboração. Há outras centrais planeadas para a área de estudo, que podem vir a ter um importante contributo para a melhoria de acessibilidade aos povoamentos que também não foram contabilizadas neste trabalho, por falta de informação disponível. O rendimento das máquinas em operação no local também é influenciado pelo declive, que poderá representar um peso significativo no custo da estilha.

Relativamente à carta de ocupação de solo utilizada para a análise das áreas dos povoamentos e a respectiva distribuição ao longo da área de estudo traz problemas ao facto da data, embora seja a mais recente disponível, passaram 5 anos desde a sua construção, e os povoamentos podem ter sofrido algumas alterações ao longo deste tempo. A assumpção de que as florestas resinosas correspondem a povoamentos de pinheiros e as folhosas e mistas a de eucaliptos distanciam os dados utilizados da realidade, assim como o facto de se ter utilizado a CLC2006, cuja unidade mínima cartográfica é de 25 ha (Caetano *et al*, 2005), fazendo com que todos os povoamentos com áreas inferiores não sejam contabilizados. De futuro estes erros podem ser bastante reduzidos usando a nova carta de ocupação de solo COS2007 que tem melhor resolução e descrimina os povoamentos de acordo com as espécies pretendidas.

Para a produção de energia foi assumido que as novas centrais em concurso tenham as mesmas características que a já existente central de Mortágua, no entanto será de esperar, por serem novas e provavelmente possuírem tecnologias mais avançadas que a de Mortágua, terão um melhor desempenho que se traduzirá num maior rendimento e consequente produção de energia. No entanto, a taxa de humidade considerada de 10% é um valor bastante teórico, que na realidade se torna difícil de alcançar.

O presente trabalho pretendeu fazer uma estimativa do potencial energético da BFR, no entanto, este valor é teórico e não tem em conta outros factores que na pratica têm grande influência para o uso do recurso, nomeadamente nos custos associados a povoamentos que estejam muito dispersos e que provavelmente a sua exploração pode vir a ser comprometida ou mesmo problemas associados à propriedade do terreno que não permita a extracção da biomassa. Há também a concorrência pelo recurso de indústrias que competem pela mesma fracção da biomassa e cujo destino não será o da produção de energia. O mercado da biomassa está também, muito volatilizado em relação às tarifas que se propõem, fazendo com que pequenas alterações no mercado possam vir a influenciar a sua exploração, podendo inclusive inviabilizá-la.



## BIBLIOGRAFIA

Abelha, P., (2005), *“Emissões Gasosas Durante a Co-Combustão de Carvão com Resíduos”*, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, pp. 1-282;

Agência Portuguesa do Ambiente (APA), (2010), *“Plano Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC)”*, site consultado em Outubro de 2010 disponível em: [www.apambiente.pt](http://www.apambiente.pt);

Almeida, H., (2005), *“O Distrito de Viseu em Números contributo para uma caracterização económico-social”*; Governo Civil Distrito Viseu, disponível em: <http://www.gov-civil-viseu.pt/>;

Almeida, V., (2011), CEDRUS-Associação de Produtores Florestais de Viseu, contacto pessoal via e-mail

Araújo, D., (2008), *“Co-Combustão de Biomassa e Carvão em Leito Fluidizado: Impactes nas emissões de NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, Dioxinas e Furanos e Material Particulado”*, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, pp. 1-157;

Aresta, M.; Tommasi, I., I., Galatola, M., (1997), *“Potential of Co-Firing With Biomass in Italy”*, Energy Convers: Mgmt Vol. 38, PII: S0196-8904(96)00327-5, pp. 1-6;

Associação de Energias Renováveis (APREN), (2010), *“Roteiro Nacional das Energias Renováveis Aplicação da directiva 2009/28/CE”*, Projecto REPAP2020, versão de 12 de Março de 2010, pp. 1-112;

Associação Empresarial de Portugal (AEP), (2008), *“Sector Florestal”*, Câmara de Comércio e Indústria, em Março de 2008, pp. 1-11;

Associação Nacional de Municípios de Portugueses, site consultado em Fevereiro de 2011, disponível em: <http://www.anmp.pt/>;

Atlas do Ambiente Digital, disponível em: <http://sniamb.apambiente.pt/atlas/>;

Autoridade Florestal Nacional (AFN), (2009), *“Floresta, Muito mais do que árvores – Manual de Educação Ambiental para a Floresta”*, AFN - Autoridade Florestal Nacional, em Dezembro de 2009, ISBN: 978-972-8097-74-5, pp. 1-132;

Autoridade Florestal Nacional (AFN), (2010), *“5º Inventário Florestal Nacional - Apresentação do Relatório Final”*, Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, pp. 1-14;

Autoridade Florestal Nacional (AFN), (2010), *“Inventário Florestal Nacional IFN5 2005-2006”*, AFN, 2010, ISBN: 978-972-8097-76-9;

Biedermann, F., Obernberger, I., (2004), *“Ash Related Problems During Biomass Combustion and Possibilities for a Sustainable Ash Utilization”*, Austrian Bioenergy Centre GmbH, pp. 1-8;

Braginskii, O.B., (2008), *“Crude Oil Prices: History, Forecast, and Impact on Economy”*, Central Economic Mathematical Institute, Russian Academy of Sciences, ISSN 1070-3632, Russian Journal of General Chemistry, 2008, Vol 79, Nº 11, pp. 2486-2498;

Caetano, M., Carrão, H., Painho, M., (2005), *“Alterações da Ocupação de Solo em Portugal Continental 1985-2000”*, Instituto do Ambiente, ISBN: 972-8577-22-2, pp. 1-40;

Caetano, M., Nunes, V., Nunes, A., (2009). *“CORINE Land Cover 2006 for Continental Portugal, Relatório técnico”*, Instituto Geográfico Português;

Centro da Biomassa para Energia (CBE), 2004, *“Optimização das operações de exploração florestal, recolha, acondicionamento, transporte e transformação primária da biomassa florestal residual para a produção de energia”*, Centro da Biomassa para Energia, Miranda do Corvo, pp. 1-128;

Centro da Biomassa para a Energia (CBE), (2008a), *“Estudo de Viabilidade de Rede de Centros de Recolha de Biomassa Florestal Residual para a Região da Alta Estremadura”*, pp. 1-64;

Centro da Biomassa para Energia (CBE), (2008b), *“Avaliação dos Custos de Aproveitamento da Biomassa Florestal”*, Seminário Multifuncionalidade da Floresta Através da Exploração dos Recursos Florestais e Silvopastorícia a 10 de Abril de 2008, Louça, pp. 1-55;

Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE), (2006), *“Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão de CO<sub>2</sub> (PNALE) 2008-2012 - Versão para consulta Pública”*, Instituto do Ambiente, GT PNALE, pp. 1-37;

Comissão Europeia (CE), (2002), *“Decisão 2002/358/CE do Conselho, de 25 de Abril de 2002, do Protocolo de Quioto da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as alterações climáticas”* Disponível em: <http://europa.eu/>

Comissão das Comunidades Europeias (CCE), (1997), *“Energia para o Futuro: Fontes de Energia Renováveis - Livro Branco para uma Estratégia e um Plano de Acção Comunitários”*, COM(97) 566 de 26 de Novembro de 1997, pp 1-56;

Comissão das Comunidades Europeias (CCE), (2005a), *“Biomass action plan”*, COM (2005) 628 de 7 de Dezembro de 2005, pp 1-48;

Comissão das Comunidades Europeias (CCE), (2006), *Roteiro das Energias Renováveis*, COM (2006)

Comissão das Comunidades Europeias (CCE), (2007), *An energy policy for Europe*, COM (2007) 1 de 10 de Janeiro de 2007, pp 1-27;

Concelho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável (BCSD Portugal), (2009) *“Relatório Temático – Energia e Clima”*, World Business Council for Sustainable Development, 2009, pp. 1-8;

Demirbas, A., (2004), *“Combustion characteristics of different biomass fuels”*, Progress in Energy and Combustion Science 30 (2004) 219-320, pp. 1-12;

Diário da República, 1ª série, Nº 105 de 31 de Maio de 2007, *“Decreto-Lei nº 225/2007”*, Ministério da Economia e da Inovação, pp. 3630-3638;

Dias, C., (2011), Contacto pessoal via e-mail, CP Carga, 10 de Janeiro;

Dias, J., (2002), *“Utilização da Biomassa: avaliação dos resíduos e utilização de pellets em caldeiras domésticas”*, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, pp. 1-112;

Direcção Geral de Energia e Geologia (DGGE), (2010), *“Caracterização Energética Nacional”*, site consultado em Setembro de 2010, disponível em: <http://www.dgge.pt/>;

Direcção Geral de Energia e Geologia (DGGE), (2011), *“Consumo de Energia Eléctrica por Tipo em 2009”*, Ficheiro Microsoft Excel disponível em: <http://www.dgge.pt/>;

Direcção Geral de Energia e Geologia (DGGE), (2010), *“Renováveis - Estatísticas Rápidas Abril 2010”*, Nº 62, pp 1-22;

Direcção Geral dos Recursos Florestais (DGRF), 2006, *“Estratégia Nacional para as Florestas”*, pp. 1-109;

Direcção Geral dos Recursos Florestais (DGRF), (2006), *“Plano Regional de Ordenamento Florestal de Dão-Lafões”*, pp. 1-279;

Direcção Geral dos Recursos Florestais (DGRF), (2006), *“Estratégia Nacional para as Florestas - Versão Preliminar para Discussão Pública”*, DGRF, 21 de Março de 2006, pp. 1-109;

Direcção Geral dos Recursos Florestais (DGRF), (2007), *“Análise da Evolução do Comercio Externo de Produtos Florestais – Boletim informativo”*, DGRF, pp. 1-22;

Eggleston, S., (2006), *“IPCC Guidance on Developing and Applying CCS Emissions Estimation Methodologies in National Inventories of GHGs”*, Intergovernmental Panel on Climate change (IPCC), pp. 1-19;

Energia de Portugal (EDP), (2007), *“Central Termoeléctrica a Biomassa da Figueira da Foz - Estudo de impacte Ambiental, Resumo Não Técnico”*, EDP - Bioeléctrica, T-070201, pp. 1-21;

Energy Information Administration (EIA), (2009), *“International Energy Outlook 2009”*, Office of Integrated Analysis and Forecasting U.S. Department of Energy Washington, DC 20585, Vol.2, pp. 31-44

Enersilva, (2007), *“Promoção do Uso da Biomassa Florestal para Fins Energéticos no Sudoeste da Europa 2004-2007”*, Projecto Enersilva, ISBN: 978-972-96003-7-1, pp. 1-44;

European Environmental Agency (EEA), (1990), *“Corine Land Cover 1990”*, download disponível em: [www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu);

European Environmental Agency (EEA), (2006), *“How Much Bioenergy can Europe Produce Without Harming the Environmental?”*, EEA Report Nº 7/2006, ISBN: 92-9167-849-X, pp. 1-72;

European Forest Fire Information System (EFFIS), site consultado em Dezembro de 2010, disponível em <http://effis.jrc.ec.europa.eu/>;

Engelbrecht, P.O., (2006), *“Bioenergy and the forest-based industries”*, Fórum - European legislation to promote bioenergy”, 6-7 de Novembro de 2006, pp. 1-19;

Governo Civil do Distrito de Viseu, site consultado em Fevereiro de 2011, disponível em: <http://www.gov-civil-viseu.pt/>;

Gulyurtlu I., Ferrão, T.C., Pinto, F., Crujeira, A.T., Lopes, H., Franco, C., Boavida, D., Cabrita, I., (2002), *“Depuración de efluentes de incineradoras de residuos”* Instituto Nacional de Engenharia Tecnologia e Inovação (INETI), Departamento de Engenharia Energética e Controlo Ambiental, Portugal

Hakkila, P., (2004), *“Development technology for large-scale production of forest chips”*, Wood Energy Technology Programme, Tekes, pp. 99;

Hall, J., (2002), *“Sustainable Production of Forest Biomass for Energy”*; Vol. 78, Nº3 The Forestry Chronicle, pp. 391-396;

Hein, K., Bemtgen, J., (1998), *“EU Clean Coal Technology – Co-combustion of Coal and Biomass”*, Fuel Processing Technology 54 (1998) 159-169, pp. 1-11;

Infante F., Veiras, G., (2004), *“Aprovechamiento de la Biomassa Florestal Producida por la Cadena Monte-Industria - Parte I: Situación Actual y Evaluación de Sistemas de Tratamiento”*, Revista CIS - Madera, pp. 6-37;

Instituto Geográfico Português (IGeo), (2011), *“Carta de Ocupação de Solo 1990”*, download disponível em [www.igeo.pt](http://www.igeo.pt);

Instituto de Meteorologia (IM), (2010), site consultado em Outubro de 2010 disponível em: [www.meteo.pt](http://www.meteo.pt);

Instituto Nacional de Estatística (INE), (2001), *“Recenseamento Geral da População - Census 2001”*, disponível em <http://www.ine.pt/>;

Instituto Nacional de Estatística (INE), (2009), *“Principais entradas e saídas dos produtos do sector florestal no ano 2008”*, site consultado em Dezembro de 2011, disponível em [www.ine.pt](http://www.ine.pt);

Instituto Superior Técnico (IST), (2004), *“Bioenergia - Manual Sobre Tecnologias, Projecto e Instalação”*, Projecto GREENPRO de 2002-2004, pp. 1-242;

International Energy Agency (IEA), (2007a), *“Biomass for Power Generation and CHP”*, IEA Energy Technology Essentials, OECD/IEA, pp. 1-4;

International Energy Agency (IEA), (2007b), *“Bioenergy Project Development & Biomass Supply”*, IEA Good Practice Guidelines, pp. 1-66;

Jarvis, A., Reuter, H.I., Nelson, A., Guevara, E. (2006). *“Hole-filled seamless SRTM data V3”*. Cali, Colombia: International Centre for Tropical Agriculture (CIAT). site online acedido a Fevereiro de 2011, disponível em: <http://srtm.csi.cgiar.org>;

Joint Research Centre, (2009), *“Forest Fires in Europe”*, Institute for Environment and Sustainability Land Management and Natural Hazards Unit, JRC 60023, ISBN: 978-92-79-16494-1, pp. 1-88;

Jornal Oficial da União Europeia, 2009, *“Directiva 2009/30/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Abril de 2009”*, L140/88, pp. 88-113;

Jornal Oficial das Comunidades Europeias, 2007, “*Directiva 2001/77/CE relativa à promoção da electricidade produzida a partir de fontes de energia renováveis no mercado interno da electricidade*”, L283/33, pp 33-40

Jornal Oficial das Comunidades Europeias, (2003), “*Directiva 2003/87/CE relativa à criação de um regime de comércio de licenças de emissão de gases com efeito estufa na Comunidade e que altera a Directiva 96/61/CE do Conselho*”, L275/32, pp. 32-46;

Jornal Oficial da União Europeia, (2003), “*Directiva 2003/30/CE relativa à promoção da utilização de biocombustíveis ou de outros combustíveis renováveis nos transportes*”, L123/42, pp. 42-46;

Klein, A., Pfuger, B., Held, A., Ragwitz, M., Resch, G., Faber, T., (2008), “*Evaluation of Different Feed-in Tariff Design Option - Best Practice Paper for the International Feed-in Cooperation*”, Energy Economics Group, Institute Systems and Innovation Research, pp 1-95;

Loo, S., Koppejan, J., (2008), “*Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing*”, Twente University Press, ISBN: 978-1-84407-249-1, pp. 7-108;

Loução, I., (2008), “*Valorização da biomassa Florestal, proveniente da doença de nemátodo de pinheiro para a produção de peletes*”, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, pp. 1-187;

Louro, G., (2011), Gabinete de Estratégia e Planeamento do Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social (GEP-MTSS), Contacto pessoal via e-mail

Mann, M., Spath, P., (2000), “*A Summary of Cycle Assessment Studies Conducted on Biomass, Coal, and Natural Gas Systems*”, National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy’s Biomass Power Program, pp. 1-8;

Miguel F., (2006), “*Educação para a Cidadania – Guião de Educação Ambiental*”, Ministério da Educação, Direcção-Geral de Inovação e de Desenvolvimento Curricular (DGIDC), ISBN: 978-972-742-249-4, pp. 1-104;

Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento (MEID), (2010), “Energia”, site consultado em Setembro de 2010 disponível em: <http://www.min-economia.pt/>;

NAVTEQ, (2011), “*Mapa de eixos de Via Secundários*”, site consultado a Janeiro de 2011, disponível em [www.navteq.com](http://www.navteq.com);

Netto, C.A., (2008), “*Potencial da Biomassa Florestal Residual para Fins Energéticos de Três Concelhos do Distrito de Santarém*”, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, pp. 1-129;

Nunes, L., Lopes, D., (2006), “*Quantificação do Carbono Fixado em Povoamentos Mistos no Norte de Portugal*”, Projecto PTDC/AGR-CFL/68186/2006, pp. 1-7;

Obernberger, I., Thek, G., (2002), “*Physical Characterisation and Chemical Composition of Densified Biomass Fuels With Regard to Their Combustion Behaviour*”, Biomass & Energy 27 (2002) 653-669, pp. 1-17;

Obernberger, I., Thek, G., (2004), *“Basic information regarding decentralized CHP plants based on biomass combustion in IEA partner countries”*, Bios Bioenergiesysteme GmbH, Graz University of Technology, pp 1-25;

Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP), (2009), *“OPEC Anual Report 2009”*, Public Relations and Information Department, ISSN 0474-6317, OPEC, 2010, pp. 1-68

Páscoa, F., (2001), *“Pbravo v.2.0. Modelo de Produção para o Pinheiro Bravo”*. PAMAF Medida 4, Acção 3 (Divulgação). Federação dos Produtores Florestais de Portugal. Aplicação Informática e Manual do Utilizador (47pp).

Pereira, J.M.C., Carreiras, J.M.B., Silva, J.M.N., Vasconcelos, M.J.P. (2006). Alguns conceitos básicos sobre os fogos rurais em Portugal. In (Ed. J.S. Pereira, J.M.C. Pereira, F. Rego, J.M.N. Silva e T.P. Silva) *Incêndios florestais em Portugal: caracterização, impactes e prevenção*, pp.133-162, ISA Press, Lisboa.

Pereira, J.S., (2007), *“Eucalipto Retém mais CO<sub>2</sub> na Atmosfera”*, Notícia online in Diário de Notícias consultada em Dezembro de 2010, disponível em: [http://www.dn.pt/inicio/interior.aspx?content\\_id=657157](http://www.dn.pt/inicio/interior.aspx?content_id=657157);

Pereira, J.S., Bugalho, M.N., Caldeira, M.C, (2008), *“Do Sobreiro à Cortiça - Um Sistema Sustentável”*, Associação Portuguesa de Cortiça (APCOR), ISBN: 978-972-95171-5-0, pp. 1-44

Quaack, P., Knoef, H., Stassen, H., (1999), *“Energy from Biomass - A Review of combustion and gasification Technologies”*, World Bank Technical Paper nº 422, Energy Series, ISBN:0-8213-4335-1, pp.2-52;

Ramcharran H., 2001, *“OPEC’s Production under fluctuating oil prices: further test of the target revenue theory”*, Department of Finance, College of Business, University of Akron, EUA, Energy Economics 23 (2001) pp. 667-681;

República Portuguesa, (2010), *“Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis (PNAER)”*;

Resolução do Conselho de Ministros nº 29/2010, *“Estratégia Nacional para a Energia (ENE2020)”*, Diário da República 1ª série – nº 73 de 15 de Abril de 2010;

Resolução do Conselho de Ministros nº 104/2006, *“Plano Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC)”*, Diário da República nº 162 - 23 de Agosto de 2006, pp 6042-6056;

Resolução do Conselho de Ministros nº 65/2006, *“Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios”*, (2006), Diário da República nº 102, I-B Série, de 23 de Março de 2006, pp. 3511-3559;

Saião, M., (2009), *“Implementação de uma Central a Biomassa - Análise Sustentabilidade Ambiental e Económica”*, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, pp. 1-113

Sami, M., Annamali, K., Wooldridge, M., (2000), *“Co.firing of Coal and Biomass Fuel Blends”*, Progress in Energy and Combustion Science 27 (2001) 171-214, pp. 1-44;

Santana, P., (2008), *“Indústrias Transformadoras de Madeira”*, Inspeção-Geral do Ambiente e do Ordenamento do Território, pp. 103-168;

Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), (2000), *"SRTM Portugal"*, disponível em: [www2.jpl.nasa.gov/srtm/](http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/);

Silva, J. (2006), *"E Depois do fogo? Os Efeitos dos Incêndios"*, site consultado a Outubro de 2010, em Naturlink: <http://www.naturlink.pt>

Silveira, S., 2001, *Transformation of the energy sector, in Building Sustainable Energy Systems – Swedish experiences*, Ed. Silveira, S., Swedish Energy Agency.

Sims, R., (2002), *"The brilliance of Bioenergy in Business and in Practice"*, James & James (Science Publisher) Ltd, ISBN: 1-902916-28-X, pp. 10-213;

Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), site consultado em Fevereiro de 2011, disponível em: <http://snirh.pt/>;

Soares, A., Pereira, M.J., (2008), *"Geostatistics for Environmental Applications Proceedings of the Sixth European Conference"*, Springer Science+Business Media B.V., ISBN:978-1-4020-6447-0, pp. 283-296;

Sousa, P., (2009), *"Desenvolvimento Tecnológico do Aproveitamento Energético da Biomassa a Nível Industrial"*, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, pp.1-108;

Splithoff, H., e tal, (1998), *"Effect of co-combustion of biomass on emissions in pulverized fuel furnaces"*, Fuel Processing Technology 54 (1998) 189-205, pp. 1-17;

Tomé, M., Ribeiro, F., Soares, P., (2001), *"O Modelo Globulus 2.1. Relatórios Técnico-científicos"* do GIMREF, nº 1/2001. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa;

Werther, J., Saenger, M., Hartge, E., Ogada, T., Siagi, Z. (2000), *"Combustion of agricultural residues"* Progress in Energy and Combustion Science 26 (2000) 1-27, pp.1-27;

Wigley T.M.L., Jain, A.K., Joos, F., Nyenzi, B.S., (1997), *"Implications of Proposed CO<sub>2</sub> Emissions Limitations - IPCC Technical Paper 4"*, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), ISBN: 92-9169-103-8

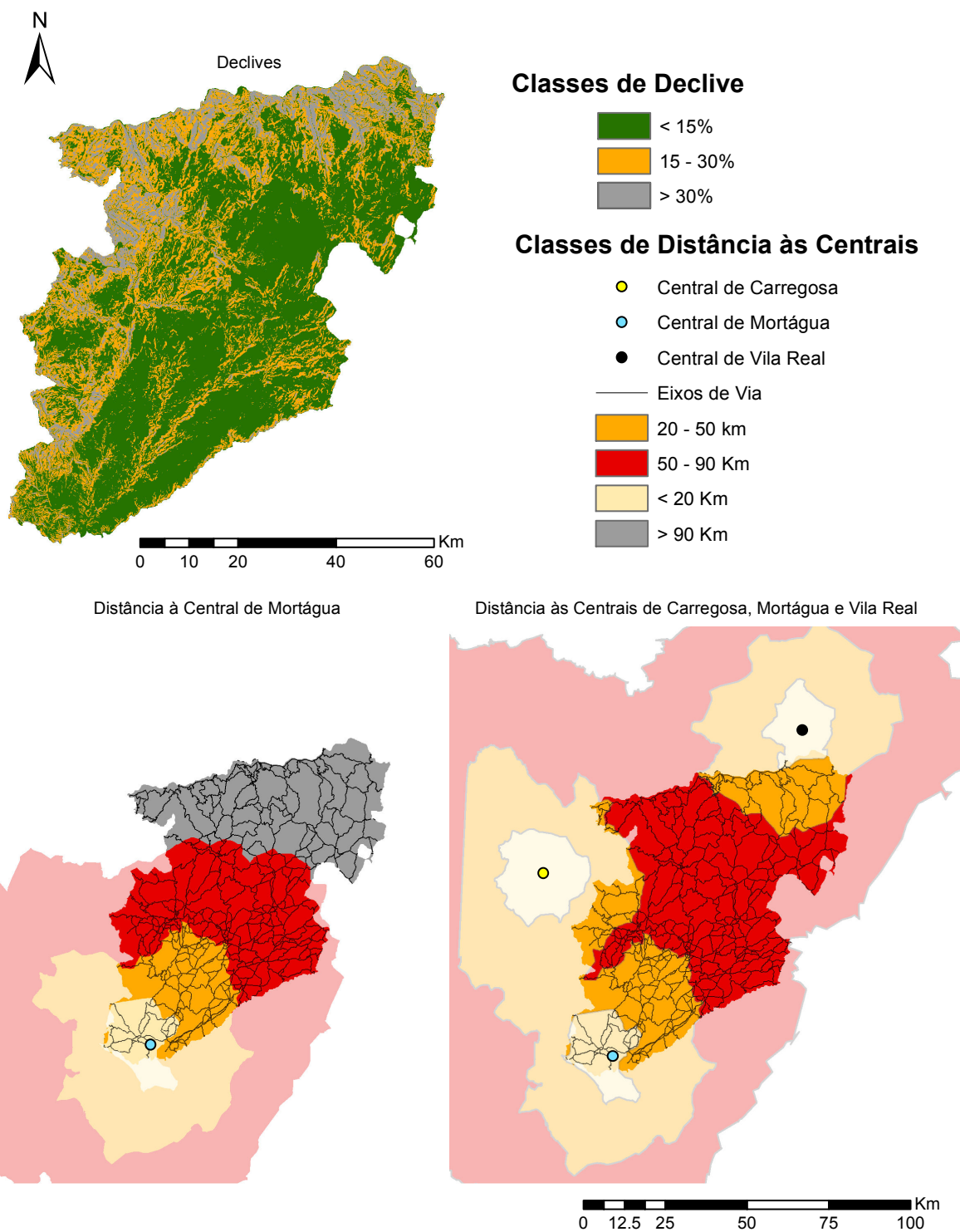
Wihersaari, M., (2005), *"Aspects on Bioenergy as a Technical Measure to Reduce Energy Related Greenhouse Gas Emissions"*, VTT Publications, ISBN: 951-38-6445-6, pp. 1-94;

Yoshioka, T., Aruga, K., Nitami, K., Sakai, H., (2005), *"Energy and Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) Balance of Logging Residues as Alternative Energy Resources: System Analysis Based on the Method of a Cycle Inventory (LCI) Analysis"*, The Japanese Forest Society and Springer-Verlag, Tokyo, DOI 10.1007/s10310-004-0126-7, pp. 1-10;

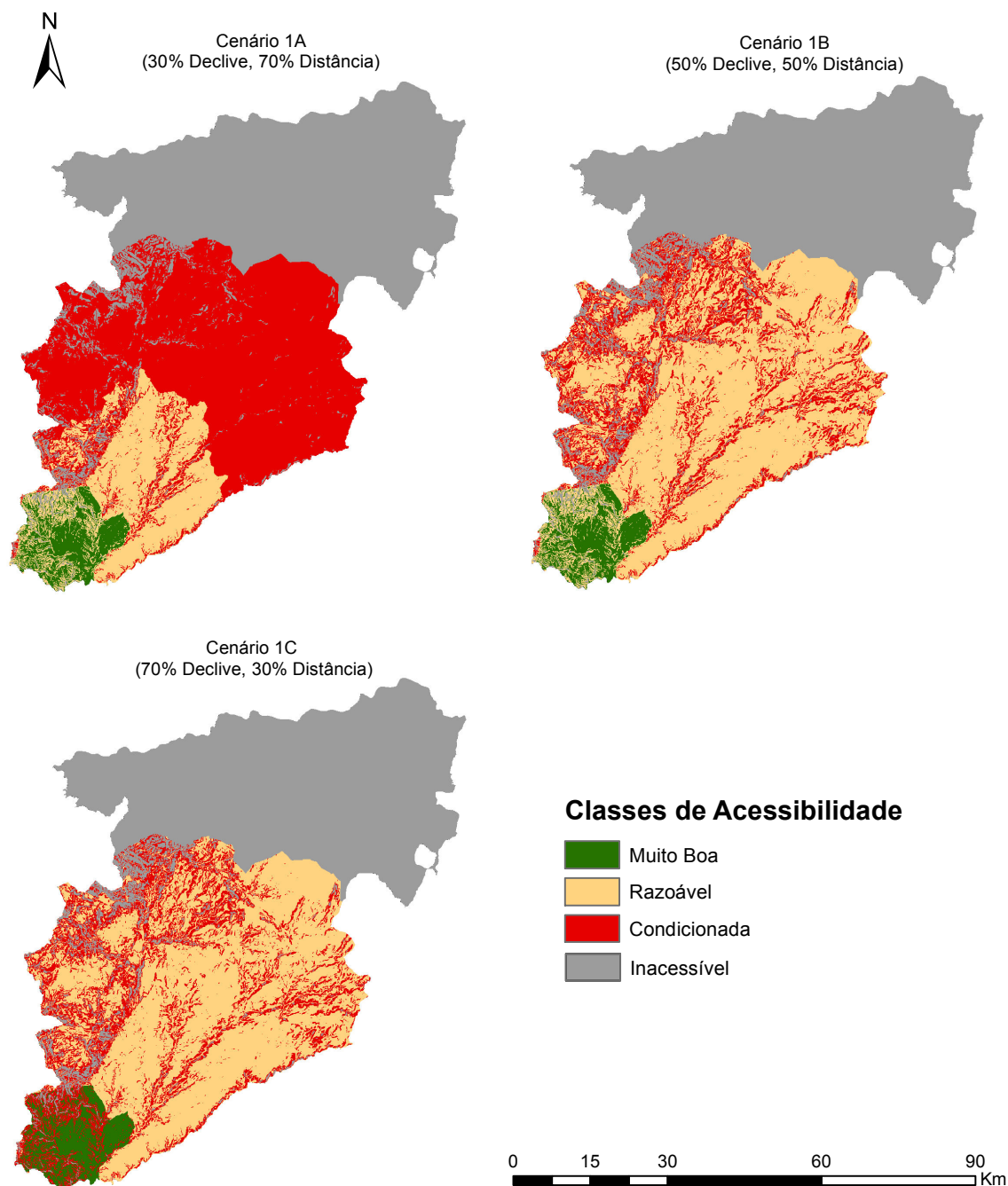




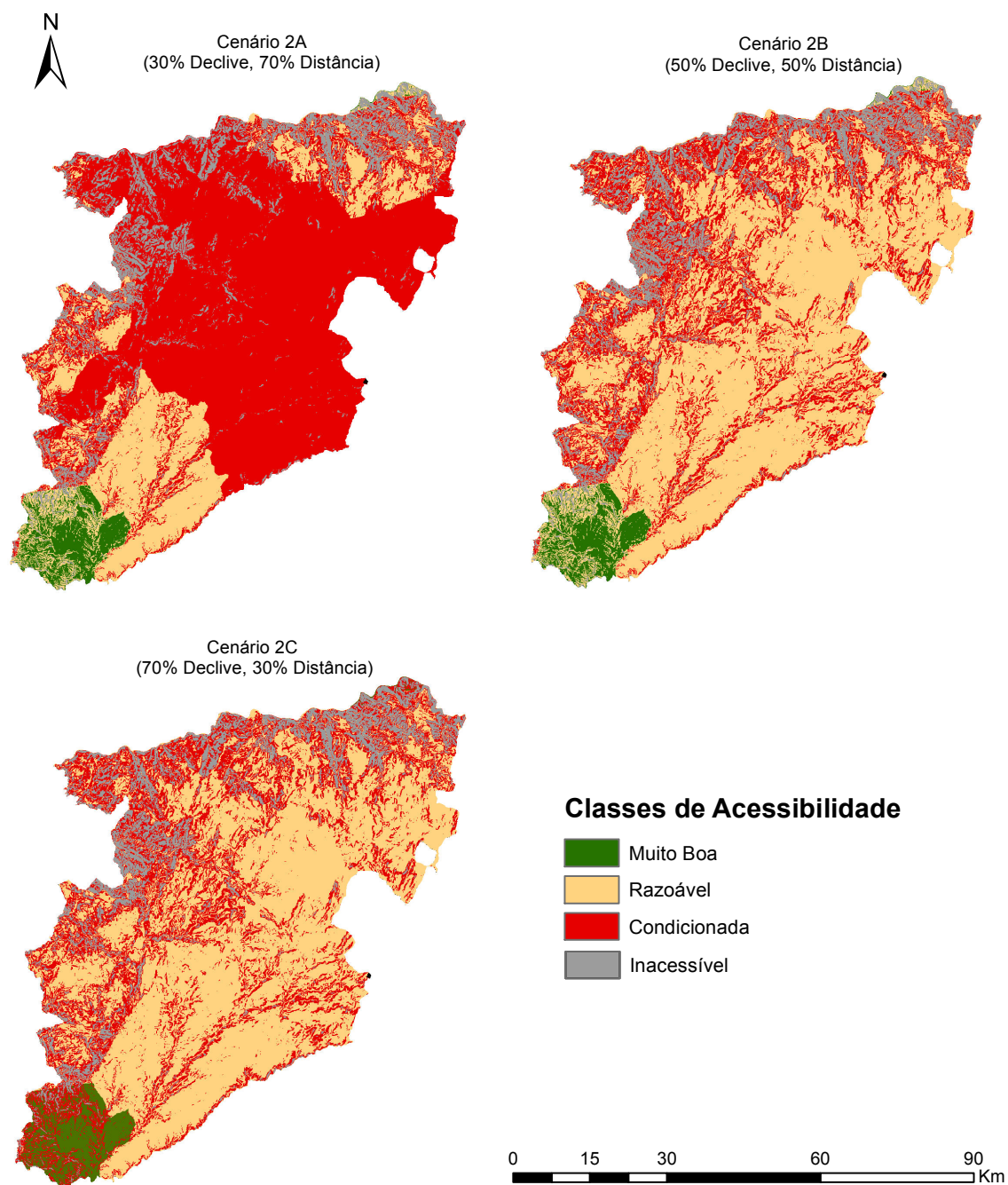
## ANEXO I - Declives e Distâncias às Centrais



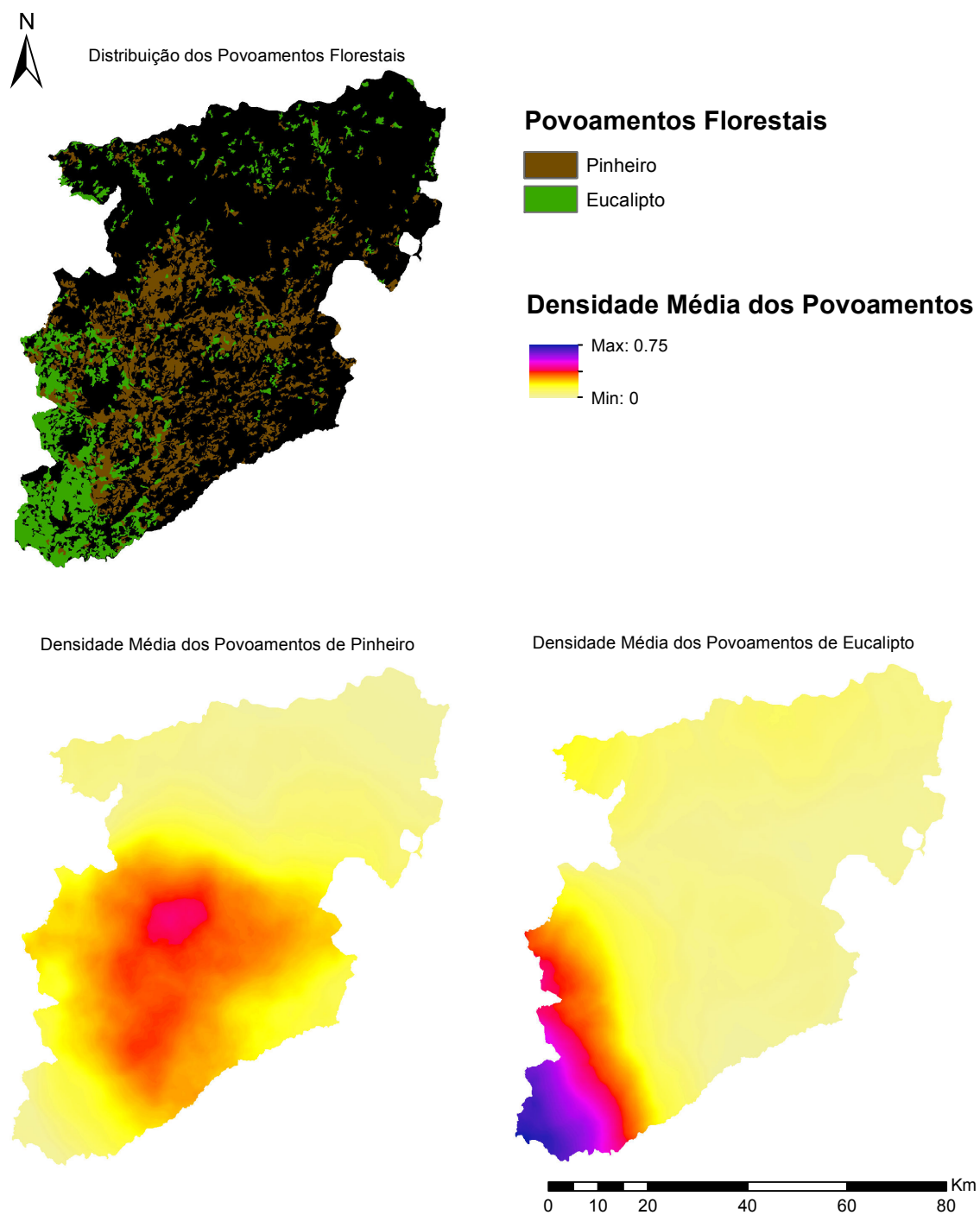
## ANEXO II - Acessibilidade Cenário 1



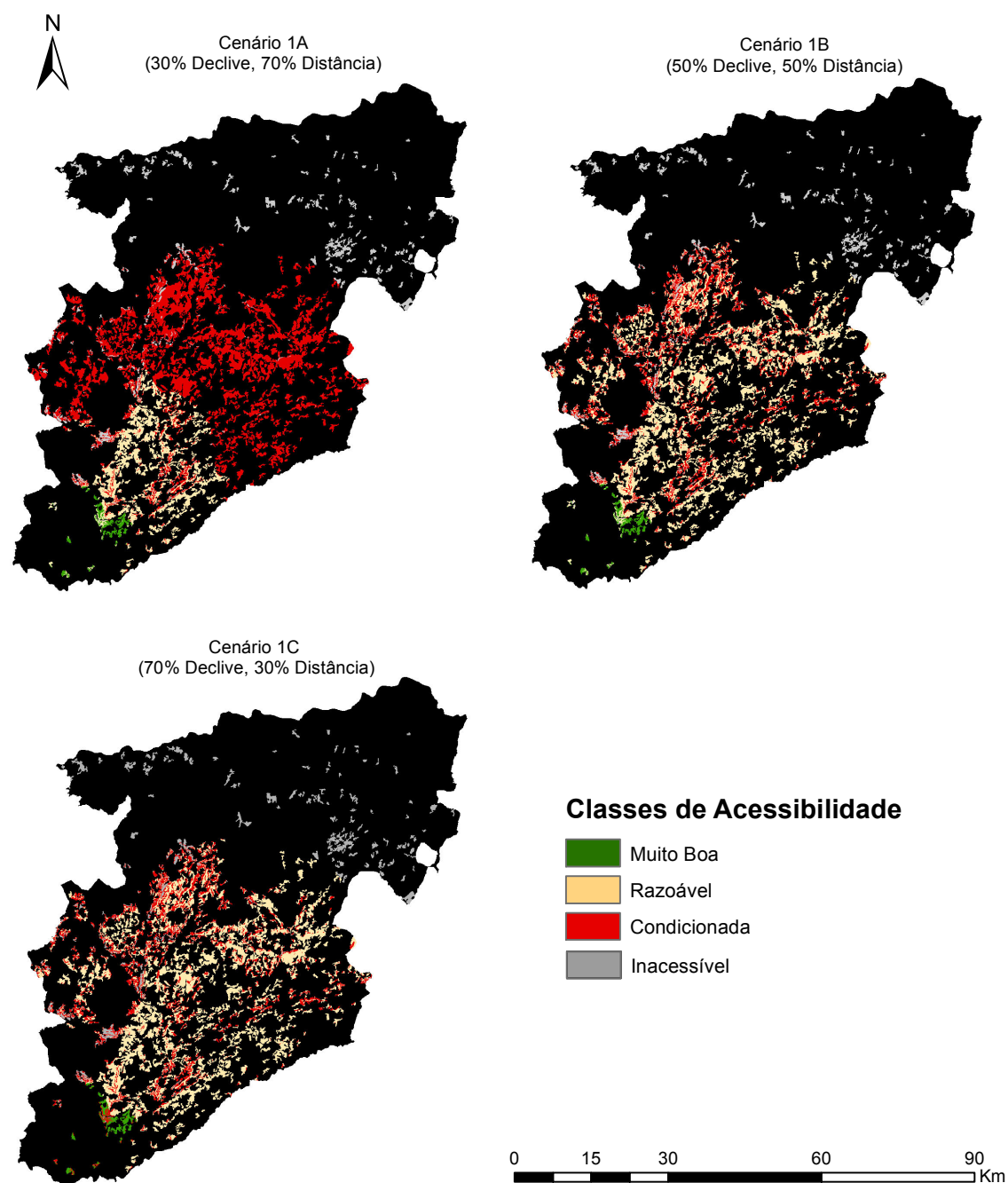
### ANEXO III - Acessibilidade Cenário 2



## ANEXO IV - Distribuição dos Principais Povoamentos Florestais

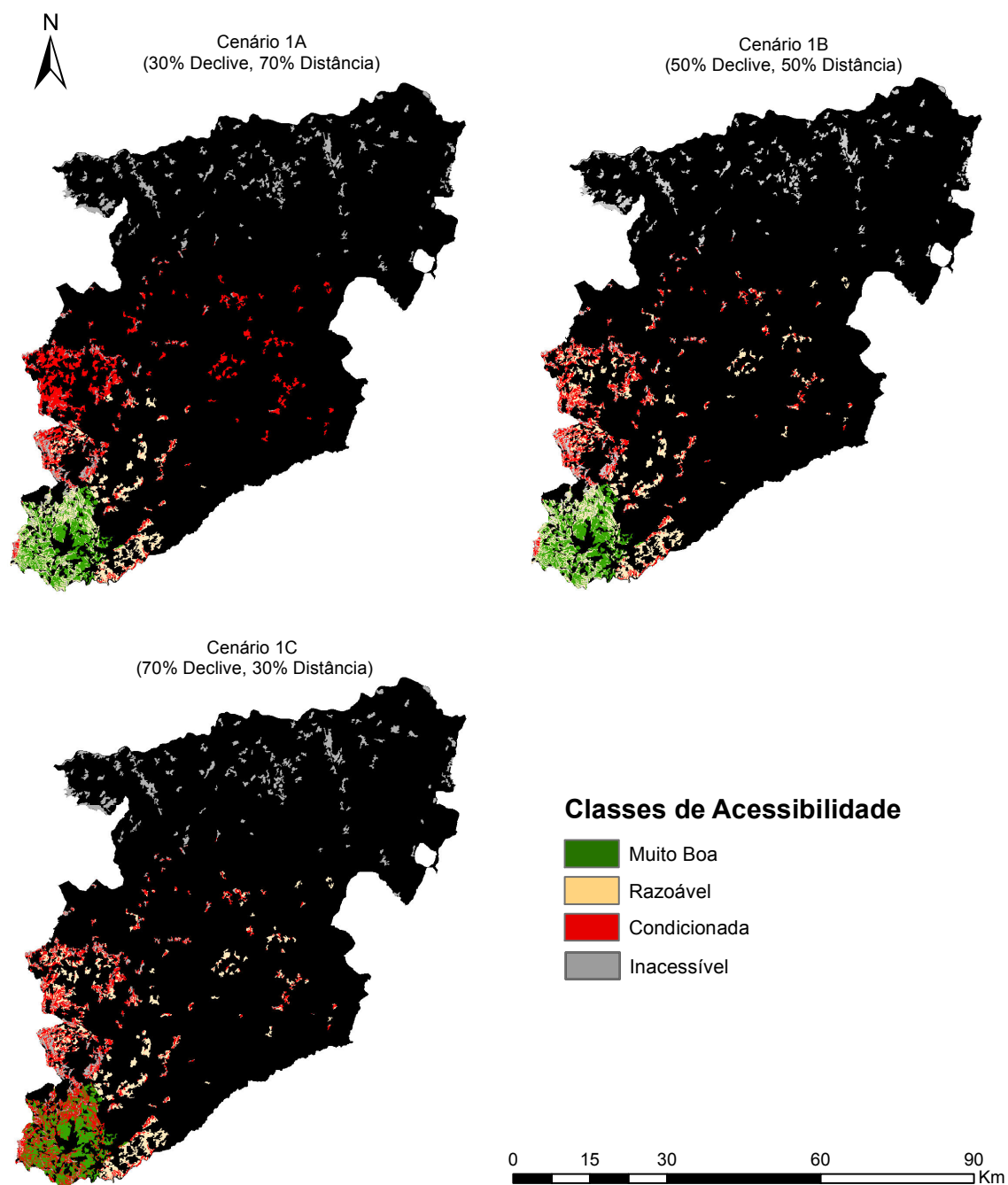


## ANEXO V - Acessibilidade aos Povoamentos de Pinheiro (Cenário 1)

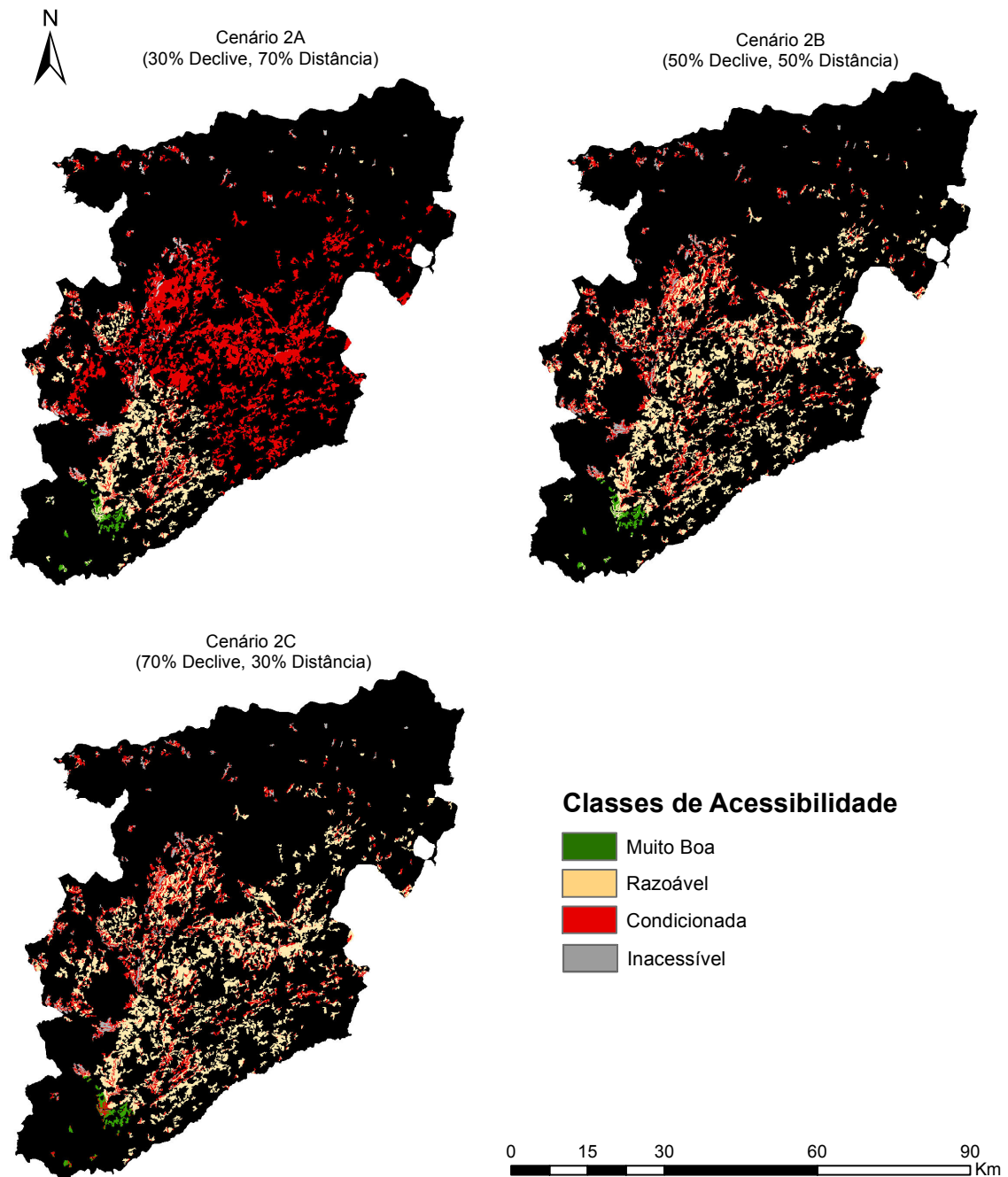




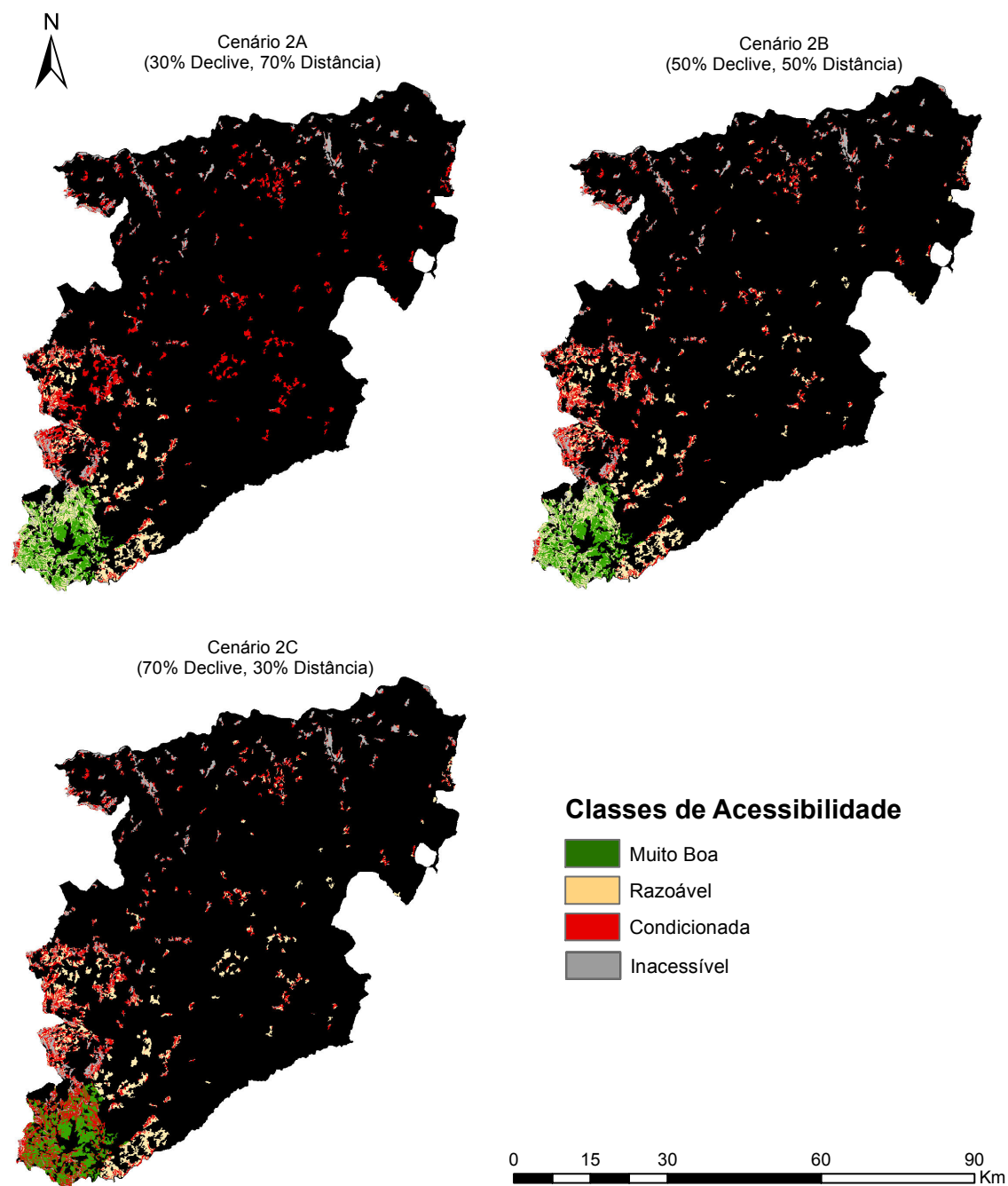
## ANEXO VI - Acessibilidade aos Povoamentos de Eucalipto (Cenário 1)



## ANEXO VII - Acessibilidade aos Povoamentos de Pinheiro (Cenário 2)



## ANEXO VIII - Acessibilidade ao Povoamentos de Eucalipto (Cenário 2)





## Anexo IX - Modelo Completo

